ZESZYTY
NAUKOWE
POLITECHNIKI
ŚLĄSKIEJ

EDWARD CICHOWSKI

# ZAGROŻENIA PYŁOWE W GÓRNICTWIE WĘGLA KAMIENNEGO – MODEL CELOWEJ TECHNIKI BEZPIECZEŃSTWA

P.3551/93

GÓRNICTWO

Z. 211
GLIWICE
1993

POLITECHNIKA ŚLĄSKA

ZESZYTY NAUKOWE

Nr 1199

P. 3351/93

EDWARD CICHOWSKI

POLITECHNIKA ŚLĄSKA Biblioteka Główna Gliwice

# ZAGROŻENIA PYŁOWE W GÓRNICTWIE WĘGLA KAMIENNEGO – MODEL CELOWEJ TECHNIKI BEZPIECZEŃSTWA

GLIWICE 1993

OPINIODAWCY

Prof. dr hab. inż. Jerzy Sobala

Prof. dr hab. inż. Wacław Trutwin

KOLEGIUM REDAKCYJNE

REDAKTOR NACZELNY – Prof. dr hab. inż. Jan Bandrowski

REDAKTOR DZIAŁU – Prof. dr hab. inż. Walery Szuścik

SEKRETARZ REDAKCJI – Mgr Elżbieta Leśko

REDAKCJA

Mgr Roma Łoś

REDAKCJA TECHNICZNA

Alicja Nowacka

Wydano za zgodą

Rektora Politechniki Śląskiej

PL ISSN 0372–9508

Wydawnictwo Politechniki Śląskiej

ul. Kujawska 3, 44-100 Gliwice

Nakł. 150+83 egz. Ark. wyd. 13 Ark. druk. 12,3. Papier offset. kl. III, 70×100, 70 g. Oddano do druku 4. 02. 1993. Podpisano do druku 4. 02. 1993 Druk ukończ. w lutym 1993

Zam. 446/93 Cena zł 18.200,–

Fotokopie, druk i oprawę

wykonał INTEC–GRAF w Gliwicach, ul. Bankowa 12

EDWARD CICHOWSKI

# ZAGROŻENIE PYŁOWE W GÓRNICTWIE WĘGLA KAMIENNEGO

## - MODEL CELOWEJ TECHNIKI BEZPIECZEŃSTWA

GLIWICE 1993r

SPIS TREŚCI


Strona

SPIS OZNACZEŃ ... 9

1. WPROWADZENIE ... 15

1.1. Bezpieczeństwo a zagrożenie ... 15

1.2. Pyły respirabilne i wybuchowe ... 16

2. PRZEDMIOT, CEL I TEZY PRACY ... 19

3. ELEMENTY TEORII ZDARZEŃ ... 21

3.1. Zdarzenia ... 21

3.2. Warunek konieczny i wystarczający następstwa zdarzeń ... 25

3.3. Konieczny łańcuch zdarzeń poprzedzający skutek ... 31

4. GENEZA NIEPOŻĄDANYCH SKUTKÓW I STRUKTURA CELÓW W ZAKŁADZIE GÓRNICZYM 36

4.1. Faza bezzagrożeniowa ... 40

4.2. Faza zagrożenia umownego ... 44

4.2.1. Zagrożenie wypadkowe ... 44

4.2.2. Zagrożenie chorobowe ... 46

4.3. Faza zagrożenia pełnego ... 49

4.3.1. Zagrożenie wypadkowe ... 49

4.3.2. Zagrożenie chorobowe ... 53

4.4. Porównanie zagrożenia wypadkowego i chorobowego ... 54

5. KONIECZNE ŁAŃCUCHY ZDARZEŃ POPRZEDZAJĄCE WYPADKI I CHOROBY ZAWODOWE 58

5.1. Analiza retrospektywna następstwa zdarzeń poprzedzającego wypadek ... 61

5.2. Analiza retrospektywna następstwa zdarzeń poprzedzającego chorobę zawodową ... 71

5.3. Konieczny łańcuch zdarzeń poprzedzający szkodliwość ... 76

6. UOGÓLNIENIE POJĘĆ ZAGROŻENIA I BEZPIECZEŃSTWA ... 79

7. ANALIZA RETROSPEKTYWNA ZAGROŻENIA PYŁOWEGO ..... 87
7.1. Zagrożenie pyłami respirabilnymi ..... 87
7.2. Zagrożenie wybuchem pyłu węglowego ..... 103
7.3. Przedstawienie globalne zagrożenia pyłowego ..... 119
8. CELOWA TECHNIKA BEZPIECZEŃSTWA PRACY W ZAKRESIE ZAGROŻENIA PYŁOWEGO 122
9. WYBRANE PROBLEMY PROFILAKTYKI TECHNICZNEJ ZORIENTOWANEJ NA STRUMIEŃ EMITOWANEGO PYŁU ..... 130
9.1. Wprowadzenie ..... 130
9.2. Wybrane rozwiązania techniczne opracowane i wdrożone przez autora do górnictwa ..... 136
9.2.1. Zwilżacz Roksol $Z_1$ ..... 136
9.2.2. Dozownik ciekłego zwilżacza typu Dz-1A ..... 139
9.2.3. Filtr szybkooczyszczalny do wody zraszającej typu FSO ..... 141
9.2.4. Seria dysz zraszających typu DP i DS ..... 142
9.2.5. Samooczyszczalne dysze zraszające typu DPZ ..... 144
9.2.6. Uniwersalne urządzenie zraszające dla kombajnów ścianowych typu AQUA-1 ..... 145
9.3. Badanie skuteczności zraszania pyłów unoszących się w powietrzu wodnym roztworem środków powierzchniowo aktywnych ..... 147
9.4. Dozowanie do wody ciekłych środków powierzchniowo aktywnych ..... 154
9.4.1. Analiza teoretyczna dozownika ejektorowego ..... 154
9.4.2. Badania stoiskowe dozownika Dz-1A ..... 160
10. PODSUMOWANIE I WNIOSKI KOŃCOWE ..... 165
LITERATURA ..... 168
STRESZCZENIA ..... 185

INHALTSVERZEICHNIS

Seite

BEZEICHNUNGSVERZEICHNIS ..... 9

1. EINLEITUNG ..... 15

1.1. Sicherheit und Gefährdung ..... 15

1.2. Respirabile und explosive Stäube ..... 16

2. THEMA, ZIEL UND THESEN DER ARBEIT ..... 19

3. ELEMENTARE EREIGNISTHEORIE ..... 21

3.1. Ereignisse ..... 21

3.2. Notwendige und hinreichende Bedingung der Ereignisfolge ..... 25

3.3. Der Folge vorangehende notwendige Ereigniskette ..... 31

4. GENESIS UNERWÜNSCHTER FOLGEN UND GLIEDERUNG DER ZIELE IM BERGWERK ... 36

4.1. Gefahrenlose Phase ..... 40

4.2. Die Gefahrphase ..... 44

4.2.1. Die Unfallgefahr ..... 44

4.2.2. Die Gesundheitsgefahr ..... 46

4.3. Die Gefährdungsphase ..... 49

4.3.1. Die Unfallgefährdung ..... 49

4.3.2. Die Gesundheitsgefährdung ..... 53

4.4. Vergleich der Unfall- und Gesundheitsgefährdung ..... 54

5. DEN UNFÄLLEN UND BERUFSKRANKHEITEN VORANGEHENDE NOTWENDIGE EREIGNISKETTE ..... 58

5.1. Retrospektive Analyse dem Unfall vorangehender Ereignisreihenfolge ..... 61

5.2. Retrospektive Analyse der Berufskrankheit vorangehender Ereignisreihenfolge ..... 71

5.3. Dem Schaden vorangehende notwendige Ereigniskette ..... 76

6. VERALLGEMEINERUNG DER BEGRIFFE VON GEFÄHRDUNG UND SICHERHEIT ..... 79

7. RETROSPEKTIVE ANALYSE DER STAUBGEFÄHRDUNG..... 87
7.1. Gefährdung durch respirabile Stäube..... 87
7.2. Gefährdung durch explosive Stäube..... 103
7.3. Globale Betrachtung der Staubgefährdung..... 119
8. SYSTEMATISCHE SICHERHEITSTECHNIK IM BEREICH DER STAUBGEFÄHRDUNG..... 122
9. AUSGEWÄHLTE PROBLEME DER AUF DEN EMITIERTEN STAUBSTROM ORIENTIERTEN TECHNISCHEN PROPHYLAXE..... 130
9.1. Einführung..... 130
9.2. Ausgewählte vom Verfasser bearbeitete und im Bergbau angewandte technische Ausführungen..... 136
9.2.1. Netzmittel Roksol $Z_1$..... 136
9.2.2. Dosierapparat für flüssige Zusatzmittel vom Typ Dz-1A... 139
9.2.3. Schnellreinigender Filter für Bedüsungswasser vom Typ FSO..... 141
9.2.4. Eine Reihe von Versprühdüsen vom Typ DP i DS..... 142
9.2.5. Selbstreinigende Versprühdüsen vom Typ DPZ..... 144
9.2.6. Universelle Bedüsungsanlage für Walzenschrämmlader vom Typ AQUA-1..... 145
9.3. Untersuchungen über den Wirkungsgrad der Bedüsung von Schwebestaub durch wässerige Netzmittellösungen..... 147
9.4. Dosieren ins Wasser flüssiger Zusatzmittel..... 154
9.4.1. Theoretische Analyse eines auf Grund der Ejekton wirkenden Dosierapparates..... 154
9.4.2. Standmessungen des Dosierapparates Dz-1A..... 160
10. ÜBERBLICK UND SCHLUßFOLGERUNGEN..... 165
LITERATUR..... 168
ZUSAMMENFASSUNGEN..... 185

CONTENTS


Page

LIST OF DESIGNATIONS ..... 9

1. INTRODUCTION ..... 15

1.1. Safety and hazard ..... 15

1.2. Respirable and explosive dust ..... 16

2. SUBJECT, AIM AND THESIS OF WORK ..... 19

3. ELEMENTS OF THE THEORY OF EVENTS ..... 21

3.1. Events ..... 21

3.2. Necessary and sufficient condition of the sequence of events ..... 25

3.3. Necessary chain of events preceding the effect ..... 31

4. GENESIS OF UNDESIRABLE EFFECTS AND THE SRUCTURE OF THE AIMS IN THE COLLIERY ..... 36

4.1. The no-hazard phase ..... 40

4.2. The conventional hazard phase ..... 44

4.2.1. The accident hazard ..... 44

4.2.2. The health hazard ..... 46

4.3. The full-hazard phase ..... 49

4.3.1. The accident hazard ..... 49

4.3.2. The health hazard ..... 53

4.4. Comparison of the accident and health hazard ..... 54

5. THE NECESSARY CHAINS OF EVENTS PRECEDING ACCIDENTS AND MINING DESEASES ..... 58

5.1. Retrospective analysis of sequence of events preceding an accident ..... 61

5.2. Retrospective analysis of sequence of events preceding a mining disease ..... 71

5.3. Necessary chains of events preceding the harmfulness ..... 76

6. GENERALIZATION OF THE CONCEPTS OF HAZARD AND SAFETY ..... 79

7. RETROSPECTIVE DUST HAZARD ANALYSES..... 87
7.1. Respirable dust hazard..... 87
7.2. Exsplosive dust hazard.....103
7.3. The total dust hazard.....119
8. SYSTEMATIC SAFETY PRECAUTIONS IN THE RANGE OF THE DUST HAZARD.....122
9. SELECTED PROBLEMS OF THE TECHNICAL PREVENTION ORIENTED AGAINST THE EMITTED DUST STREAM.....130
9.1. Introduction.....130
9.2. Selected technical solutions worked out and applied in the mining by the auther.....136
9.2.1. Wetting-agent Roksol $Z_1$.....136
9.2.2. Proportioner for liquid wetting agents of the type Dz-1A.....139
9.2.3. Rapid-cleaning filter for sprinkling water of the type FSO.....141
9.2.4. Series of sprinkle nozzles of the types DP and DS.....142
9.2.5. Self-cleaning sprinkle nozzles of the type DPZ.....144
9.2.6. Universal sprinkler system for shearer loader faces of the type AQUA-1.....145
9.3. Investigations on dust suppression efficiency of airborne dust by wetting agent - water solutions.....147
9.4. Proportioning into the water of liquid wetting agents.....154
9.4.1. Theoretical analysis of an ejection proportioner.....154
9.4.2. Pilot plant tests of the proportioner DZ-1A.....160
10. SUMMING AND FINAL REMARKS.....165
LITERATURE.....168
SUMMARY.....185

## SPIS OZNACZEŃ DO ROZDZIAŁÓW 3 DO 8

Funktory logiczne

$\wedge$ - koniunkcja $\equiv$ - równoważność $\Rightarrow$ - implikacja

$\vee$ - alternatywa $\bar{}$ - negacja

$\left\{\left\{\left\{(\,)\right\}\right\}\right\}$ - nawiasy obejmujące zbiór zdarzeń warunkujący konieczne następstwo zdarzeń,

$\left[\left[\left[(\,)\right]\right]\right]$ - nawiasy obejmujące niektóre składniki istotne warunku koniecznego następstwa zdarzeń,

$\left(\left(\left(\ \right)\right)\right)$ - nawiasy objaśniające; na ogół obejmujące wcześniejsze następstwo zdarzeń,

$\tau$, $\tau_d$ - czas ekspozycji, dopuszczalny,

$\Omega_1, \Omega_2, \Omega_3, \Omega_4$ - zbiory warunkujące następstwo zdarzeń spoza rozpatrywanego zbioru zdarzeń $\mathbb{V}_p$ (węzły zewnętrzne grafu),

$AZ_{ch}$ - aktywizacja zagrożenia chorobowego,

AZ - niebezpieczne (dla załogi) zmiany parametrów środowiska pracy (CAZ - parametry środowiska pracy) spowodowane:

$AZ_l$ - litosferą (przykładowo zawałem, wyrzutem, obrywem),

$AZ_t$ - technosferą (przykładowo awarią urządzenia),

$AZ_p$ - wybuchem gazu lub obłoku pierwotnego pyłu węglowego,

$AZ_w$ - wybuchem obłoku wtórnego pyłu węglowego,

$AZ_s$ - innymi czynnikami (przykładowo nagłym ruchem lub pojawieniem się napięcia w elemencie, który powinien być nieruchomy, lub bez napięcia, nagłym wzrostem stężenia gazów trujących, lub duszących, albo zmianą innych parametrów strumienia wentylacyjnego),

$AZ_c$ - czynnik aktywizacji zagrożenia - człowiek,

BZa, ZaU, ZaP - możliwe stany w środowisku pracy - fazy : bezzagrożeniowa, zagrożenia umownego, zagrożenia pełnego,

$\mathbf{BZa}, \mathbf{ZaU}, \mathbf{ZaP}$ - zbiory zdarzeń warunkujące fazy: bezzagrożeniową, zagrożenia umownego, zagrożenia pełnego,

CAZ - czynnik aktywizacji zagrożenia,

Ch - choroba zawodowa,

$E_w$ - warunek wystarczający następstwa zdarzeń,

$L_k, L$ - łańcuchy zdarzeń poprzedzające szkodliwość: warunki konieczne, warunki półdeterministyczne następstwa zdarzeń,

NZ - nieodwracalne zmiany chorobowe,

ODO - ochrona dróg oddechowych,

$O_{k6},\ldots,O_{k1},O_6,\ldots,O_1$ - makrozdarzenia stanowiące warunki: konieczne, półdeterministyczne następstwa zdarzeń,

$PB_{1:J}$ -poziomy bezpieczeństwa w zakresie parametrów środowiska pracy i sprawstwa $\overline{Sa}$ (sprawstwo regresywne):

PP - pożądane parametry środowiska pracy,

$PP_{2,4}$ - 2 i 4 linia obrony przed wybuchem pyłu węglowego.

FPZ - formalny próg zagrożenia,

$FPZ_3$ - 3 linia obrony przed wybuchem pyłu węglowego,

NDS - najwyższe dopuszczalne stężenie czynnika szkodliwego,

$PT \wedge \overline{Sa}_{PT}$ - nakazana lub zalecana profilaktyka techniczna w zakresie:

$PT_w \wedge \overline{Sa}_{PTw}$ - wentylacji,

$PT_{rg} \wedge \overline{Sa}_{PTrg}$ - robót górniczych,

$PT_{1:4} \wedge \overline{Sa}_{PT1:4}$ - 1 do 4 linii obrony przed wybuchem pyłu węglowego,

$KA \wedge \overline{Sa}_{KA}$ - kontrola automatyczna parametrów środowiska pracy,

$\overline{Sa}_D$ - decyzje pożądane podjęte przez:

$\overline{Sa}_{Dw}$ - jednostkę nadrzędną,

$\overline{Sa}_{Dk}$ - kierownictwo ZG,

$\overline{Sa}_{Dd}$ - dozór,

$\overline{Sa}_{Dz}$ - załogę,

$\overline{Sa}_{KO}$ - kształtowanie osobowości:

$\overline{Sa}_{KOk}$ - kierownictwa ZG,

$\overline{Sa}_{KOd}$ - dozoru,

$\overline{Sa}_{KOz}$ - załogi,

$\overline{Sa}_K$ - kontrola załogi i parametrów środowiska pracy dotycząca:

$\overline{Sa}_{Kw}$ - kierownictwa ZG przez jednostkę nadrzędną,

$\overline{Sa}_{Kd}$ - dozoru przez kierownictwo,

$\overline{Sa}_{Kz}$ - załogi przez dozór,

$\overline{Sa}_{Kr}$ - ruchu ZG,

$\overline{Sa}_{Krg}$ - robót górniczych,

$\overline{Sa}_{K2:4}$ -2 do 4 linii obrony przed wybuchem pyłu węglowego,

$\overline{Sa}_{Ko}$ - opadu,

$\overline{Sa}_{Ks}$ - stężenia zapylenia,

$\overline{Sa}_{OO}$ - ochrony osobiste,

$\overline{Sa}_{KM}$ - kontrola medyczna,

SPZ - statystyczny próg zachorowalności,

$\overline{Sa}_{KSZ}$ - kierowany system zatrudnienia,

$SA \wedge \overline{Sa}_{SA}$ - systemy alarmujące,

$\overline{Sa}_P$ - pierwsza pomoc,

$\overline{Sa}_R$ - ratownictwo,

$\overline{Sa}_{PM}$ - profilaktyka medyczna.

$RZ_{ch}$ - rzeczywisty próg zagrożenia chorobowego,

RZ - rzeczywisty próg zagrożenia wypadkowego dotyczący:

- $RZ_l$ - litosfery,
- $RZ_t$ - technosfery,
- $RZ_{gw}$ - gazów wybuchowych,
- $RZ_{gs}$ - parametrów strumienia wentylacyjnego,
- $RZ_c$ - obiektów środowiska pracy,
- $RZ_p$ - obłoku pierwotnego,
- $RZ_w$ - obłoku wtórnego,

S - stężenie zapylenia,

Sz - szkoda materialna,

U - uraz,

$W_VCh_VSz$ - szkodliwość,

V - środowisko, $V_p$ - środowisko pracy,

W - wypadek przy pracy,

$Za_VSa$ - deficyty bezpieczeństwa w zakresie parametrów środowiska pracy Za lub/i sprawstwa Sa (sprawstwo progresywne):

- $Za_{PP}$ - pożądane parametry środowiska pracy,
  - $Za_{PP2:4}$ - 2 i 4 linia obrony przed wybuchem pyłu węglowego,
- $Za_{FPZ}$ - formalny próg zagrożenia,
  - $Za_{FPZ3}$ - 3 linia obrony przed wybuchem pyłu węglowego,
- $Za_{NDS}$ - najwyższe dopuszczalne stężenie zapylenia powietrza,
- $Za_{PT}V Sa_{PT}$ - nakazana lub zalecana profilaktyka techniczna dotycząca:
  - $Za_{PTw}V Sa_{PTw}$ - wentylacji,
  - $Za_{PTrg}V Sa_{PTrg}$ - robót górniczych,
  - $Za_{PT1:4}V Sa_{PT1:4}$ - 1 do 4 linii obrony przed wybuchem pyłu węglowego,
- $Za_{KA}V Sa_{KA}$ - kontrola automatyczna parametrów środowiska pracy,

$Sa_D$ - decyzje błędne podjęte przez:

$Sa_{Dw}$ - jednostkę nadrzędną,

$Sa_{Dk}$ - kierownictwo ZG,

$Sa_{Dd}$ - dozór,

$Sa_{Dz}$ - załogę,

$Sa_{KO}$ - kształtowanie osobowości:

$Sa_{KOk}$ - kierownictwa ZG,

$Sa_{KOd}$ - dozoru,

$Sa_{KOz}$ - załogi,

$Sa_K$ - kontrola załogi i parametrów środowiska pracy:

$Sa_{Kk}$ - kierownictwa ZG przez jednostkę nadrzędną,

$Sa_{Kd}$ - dozoru przez kierownictwo,

$Sa_{Kz}$ - załogi przez dozór,

$Sa_{Kr}$ - ruchu ZG,

$Sa_{Krg}$ - robót górniczych,

$Sa_{K2:4}$ -2 do 4 linia obrony przed wybuchem pyłu węglowego,

$Sa_{Ko}$ - opadu,

$Sa_{Ks}$ - stężenia zapylenia,

$Sa_{OO}$ - ochrony osobiste,

$Sa_{KM}$ - kontrola medyczna,

SPZ - statystyczny próg zachorowalności,

$Sa_{KSZ}$ - kierowany system zatrudnienia,

$Za_{SA} \vee Sa_{SA}$ - systemy alarmujące,

$Sa_P$ - pierwsza pomoc,

$Sa_R$ - ratownictwo,

$Sa_{PM}$ - profilaktyka medyczna,

ZG - zakład górniczy,

$Z_k,..,A_k,Z,..,A$ - warunki: konieczne, półdeterministyczne następstwa zdarzeń (węzły wewnętrzne grafu),

zk,..,ak,zs,..,as,zq,..,aq - składniki istotne warunku koniecznego: zdarzenia kinetyczne, statyczne, quasi-statyczne (gałęzie grafu),

ZU - zbieżność uwarunkowań,

ZW - zdarzenie wypadkowe.

## SPIS OZNACZEŃ DO ROZDZIAŁU 9

$\delta$ - błąd względny (w stosunku do wartości maksymalnej),

$\eta$ - całkowita skuteczność odpylania,

$\eta_N$ - skuteczność wstępnego nawilżania pokładów,

$\eta_z$ - skuteczność zraszania,

$\xi$ - współczynnik strat w dyszy,

$\mu$ - współczynnik lepkości dynamicznej,

$\rho$ - gęstość cieczy,

$\tau$ - czas,

c - średnia prędkość przepływu,

d - średnica dyszy,

D - średnica dozownika,

F - powierzchnia przekroju,

$\dot{G}$ - strumień masy,

$G_s$ - masa zwilżacza w dozowniku,

m - moduł zwężki,

M - stosunek ejekcji, stężenie zwilżacza w wodzie,

$p_d$ - ciśnienie mierzone przed dyszą,

$\dot{Q}$ - strumień objętości,

r - współczynnik korelacji,

Re - liczba Reynoldsa,

S - stężenie zapylenia,

$S^*$ - średnie odchylenie standardowe,

t - temperatura,

$W_d$ - wyróżnik konstrukcyjny dozownika,

$W_s$ - wyróżnik konstrukcyjny strumienicy,

z - wysokość słupa zwilżacza w dozowniku,

rozpatrywane przekroje:

rz-rz, rs-rs,

z-z, s'-s',

s-s, km-km,

indeksy:

z - ciecz zasilająca,

s - ciecz zasysana.

# 1. WPROWADZENIE

## 1.1. BEZPIECZEŃSTWO A ZAGROŻENIE

Zagrożenie bezwzględne stanowią wszelkie stany, występujące w środowisku pracy (na ogół nieznane) zarówno po stronie parametrów środowiska pracy, jak i czynnika ludzkiego, które mogą warunkować powstanie urazów lub nieodwracalnych zmian chorobowych u członków załogi zakładu górniczego (ZG) [36].

Sformułowana w ten sposób definicja zagrożenia pozwala jedynie wypowiadać się, na podstawie statystyki wypadków i chorób zawodowych [135, 143, 179s], odnośnie do rozmiarów występującego zagrożenia; natomiast nie umożliwia wnioskowania dotyczącego profilaktyki, skierowanej przeciw zagrożeniu bezwzględnemu, rzeczywiście występującemu w środowisku pracy.

Bezpieczeństwo i higiena pracy przedstawiają natomiast stan w środowisku pracy, stworzony w celu wyeliminowania lub maksymalnego ograniczenia ujemnego wpływu środowiska pracy na załogę [43, 129], czyli bezpieczeństwo względne, wynikające z aktualnego poziomu poznania i opanowania występującego zagrożenia bezwzględnego.

W związku z tym zachodzi potrzeba wprowadzenia pojęcia zagrożenia względnego, które stanowi wszelkie odchylenia od stanu wyznaczonego przez aktualny stan bezpieczeństwa i higieny pracy [127]. W dalszych rozważaniach przez zagrożenie będzie rozumiane zagrożenie względne (w innych przypadkach zostanie to zaznaczone).

Bezpieczeństwo i higiena pracy, jako część nauki o górnictwie, na podstawie długoletniego doświadczenia, wyników badań prowadzonych w różnych placówkach naukowych, gruntownej analizy zaistniałych wypadków i chorób zawodowych umożliwia ustanowienie odpowiednich poziomów bezpieczeństwa (PB) i nadanie im rangi obowiązujących przepisów BHP [40, 162].

Zanim powstanie wypadek przy pracy lub choroba zawodowa w środowisku pracy można wyodrębnić trzy kolejne fazy możliwego następstwa zdarzeń [39]:

- fazę bezzagrożeniową (BZa), podczas której nie występuje zagrożenie dla załogi ZG przy obecnym stanie wiedzy, jednak wymagane jest stałe oddziaływanie zarówno na parametry środowiska pracy, jak i na załogę, aby w warunkach ruchowych utrzymać nakazane poziomy bezpieczeństwa i higieny pracy,
- fazę zagrożenia umownego (ZaU), która stanowi przedział czasowy, stworzony obowiązującymi przepisami BHP, podczas którego przez kontrolę: wzrokową lub pomiarową parametrów środowiska pracy, czasu oddziaływania czynników szkodliwych i zachowania załogi, mimo przekroczenia nakazanych poziomów bezpieczeństwa, jest jeszcze możliwe podjęcie skutecznej profilaktyki,
- fazę zagrożenia pełnego (ZaP), podczas której możliwe jest niebezpieczne zetknięcie się załogi z obiektami środowiska pracy wskutek: nie kontrolowanych zmian parametrów środowiska pracy, nie kontrolowanych czynności załogi oraz nie kontrolowanej ekspozycji załogi na czynniki szkodliwe.

## 1.2. PYŁY RESPIRABILNE I WYBUCHOWE

Istotą zagrożenia pyłowego dla załogi zakładu górniczego jest możliwość niebezpiecznego dla zdrowia i życia zetknięcia się:

- w warunkach awaryjnych z produktami wybuchu pyłu węglowego w postaci powietrza kopalnianego o znacznie zmienionych, w stosunku do normalnych, parametrach (temperaturą, prędkością przepływu, ciśnieniem), zawierającego zanieczyszczenia w postaci gazów trujących i duszących oraz pyłów [12],
- w warunkach normalnych z powietrzem zawierającym zawiesinę pyłową szkodliwą dla zdrowia; obniżającą również komfort i bezpieczeństwo pracy [72, 160].

Z pyłem emitowanym do strumienia wentylacyjnego wskutek prowadzonych robót górniczych związane są następujące skutki pośrednie:

- w zależności od różnych uwarunkowań pył sedymentuje na drodze przepływu, powodując zapylenie wyrobisk. Zalegający w wyrobiskach pył węglowy może stać się "pożywką" dla wybuchu pyłu węglowego, dodatkowo przy spełnieniu określonych warunków ilościowych i jakościowych, dotyczących parametrów środowiska pracy, a nieraz i czynnika ludzkiego [44];

w zależności od różnych uwarunkowań, dotyczących parametrów środowiska pracy oraz czynnika ludzkiego, po pokonaniu naturalnej obrony organizmu kolagenowy pył respirabilny unoszący się w strumieniu wentylacyjnym może być powodem zainicjowania zachorowania na pylicę [98a];

w zależności od stężenia zapylenia może w niektórych miejscach wyrobisk nastąpić zmiejszenie widoczności aż do zupełnego jej zaniku. Obniża to komfort pracy, utrudnia orientację oraz może wywołać "irytację" u załogi, co w efekcie prowadzi do zwiększenia zagrożenia wypadkowego [69].

Wprowadzenie kompleksowej mechanizacji i elektryfikacji kopalń wprawdzie znacznie zwiększyło wydobycie w ciągu kilkudziesięciu ostatnich lat, zostało jednak okupione zwiększoną mocą i wydajnością maszyn urabiających zainstalowanych w wyrobiskach, produkujących coraz to większe ilości pyłu (na każde 1000 ton urobku produkuje się 1 tonę szkodliwego pyłu [54a]). Pociąga to za sobą konieczność ciągłego doskonalenia stosowanej techniki zwalczania zagrożenia pyłowego.

Pył stanowi obecnie największe zagrożenie wypadkowe i chorobowe występujące w górnictwie. Zaistniały wybuch pyłu węglowego stanowi ponadto poważną awarię górniczą zagrażającą ruchowi zakładu górniczego i pociąga za sobą na ogół znaczne straty materialne. Wybuch pyłu węglowego może również stanowić czynnik aktywizacji innych zagrożeń górniczych, przykładowo zawałowego, pożarowego itd. [12]. W związku z tym prowadzone jest intensywne zwalczanie przyczyn mogących zainicjować wybuch pyłu węglowego (wybuch metanu, roboty strzałowe, praca urządzeń elektrycznych itd.) [79,87, 133].

Wśród górników najgroźniejszą chorobą zawodową jest pylica. Jej udział we wszystkich uznanych chorobach zawodowych wynosi blisko 50% [179s]. Możliwości opanowania pylicy przez stosowaną profilaktykę medyczną są niewielkie; jedynie właściwe stosowanie profilaktyki technicznej prowadzi do opanowania zagrożenia chorobowego [54].

Ze wzgledu na powagę zagrożenia pyłowego pył zwalczany jest podczas całej drogi występowania, tj. od momentu jego powstania, emisji i uniesienia przez strumień wentylacyjny, poprzez sedymentację wzdłuż drogi przepływu, aktywizację zagrożenia itd. aż do momentu powstania wypadku przy pracy, szkody materialnej czy choroby zawodowej [11,30,132a]. Decydującym elementem walki z zagrożeniem pyłowym jest działanie kierownictwa ZG, dozoru i całej załogi w tym zakresie [119,147,162].

Metody zwalczania zagrożenia pyłowego muszą być stosowane kompleksowo, gdyż dopiero wykorzystanie wszystkich dostępnych środków pozwala zapewnić stan względnego bezpieczeństwa [44,69,81].

## 2. PRZEDMIOT, CEL I TEZY PRACY

Przedmiotem opracowania są modele zagrożenia wypadkowego i chorobowego oraz globalnie zagrożenia pyłowego występującego w górnictwie węgla kamiennego. Na tle łańcucha zdarzeń rozwijającego się w środowisku pracy przedstawiono celową technikę bezpieczeństwa pracy w tym zakresie oraz wybrane rozwiązania profilaktyki technicznej wdrożone przez autora do górnictwa w zmechanizowanych wyrobiskach ścianowych.

Celem przedstawionego opacowania jest szczegółowa analiza zagrożenia i bezpieczeństwa związanego z pyłem oraz poprawa warunków bezpieczeństwa i higieny pracy przez zastosowaną profilaktykę techniczną zorientowaną na strumień pyłu w chwili jego tworzenia i emisji do strumienia wentylacyjnego.

Główne tezy pracy można sformułować w następujących punktach:

1. Zagrożenie wypadkowe i chorobowe w górniczym środowisku pracy określa stan charakteryzujący się występowaniem deficytu bezpieczeństwa pracy zarówno po stronie parametrów środowiska pracy lub/ i czynnika ludzkiego, który stanowiąc odchylenie od nakazanych poziomów bezpieczeństwa, przyjętych w obowiązujących przepisach BHP (na obecnym etapie poznania) stwarza warunki progresywne, czyli sprzyjające niepożądanemu następstwu zdarzeń.
2. Analiza retrospektywna zaczynająca się od wypadku przy pracy lub choroby zawodowej określa konieczny łańcuch zdarzeń poprzedzający te niepożądane skutki działalności górniczej.
3. Półdeterministyczne łańcuchy zbiorów zdarzeń stanowią warunki konieczne wraz z możliwymi uwarunkowaniami sprzyjającymi niepożądanemu następstwu zdarzeń (na obecnym etapie poznania) poprzedzającemu urazy i nieodwracalne zmiany chorobowe związane z pyłem.
4. Osiągnięcie bezpieczeństwa (czyli fazy bezzagrożeniowej) w górniczym środowisku pracy determinuje system celowej techniki bezpieczeństwa pracy przyjęty na całej długości koniecznego łańcucha zdarzeń

poprzedzającego wypadki przy pracy i choroby zawodowe związane z pyłem, a stanowiący zaprzeczenie łańcucha niepożądanych zdarzeń.

5. Profilaktyka techniczna stosowana w zmechanizowanych wyrobiskach ścianowych i chodnikowych, zorientowana na strumień pyłu w momencie jego tworzenia i emisji do strumienia wentylacyjnego, stanowi efektywną drogę prowadzącą do celu (tzn. do bezzagrożeniowego wydobycia), gdyż powoduje możliwie wczesne przerwanie łańcucha zdarzeń poprzedzającego wypadki i choroby zawodowe związane z pyłem.
6. Zastosowanie środków powierzchniowo aktywnych, jako dodatku do wody, zwiększa efekt zastosowania wody przy zwalczaniu zapylenia w górnictwie.
7. Zastosowanie dozownika ejektorowego, dozującego ciekły zwilżacz do strumienia wody zraszającej płynącej pod ciśnieniem, zapewnia w określonym zakresie natężenia przepływu wody utrzymanie wymaganego stężenia zwilżacza w wodzie.

## 3. ELEMENTY TEORII ZDARZEŃ

### 3.1. ZDARZENIA

Środowisko $\mathbb{V}$ może być traktowane jako zbiór zachodzących zdarzeń elementarnych $e_i$ [15].

$$\mathbb{V} = \{e_1, e_2, \ldots, e_i\} \qquad (i=1,2,\ldots n; n\in N). \qquad (3.1)$$

Pojęcie zdarzenia jest kategorią aprioryczną. Wszystkie zdarzenia zachodzące w środowisku dzielą się na zdarzenia statyczne, oznaczające stany środowiska oraz kinetyczne oznaczające zmiany tych stanów. Zdarzenia kinetyczne stanowią przyczynę, a zdarzenia statyczne uwarunkowanie następstwa zdarzeń [76].

Poza zdarzeniami elementarnymi, przykładowo ruchami molekularnymi, które tworzą w przyrodzie ogromny, nieprzeliczalny zbiór zdarzeń prostych, występują makro- i mikrozdarzenia złożone o różnym stopniu złozoności, stanowiące podzbiory środowiska [113].

Makrozdarzeniem najbardziej złożonym z rozpatrywanych jest samo środowisko pracy $\mathbb{V}_p$, stanowiące podzbiór środowiska $\mathbb{V}$

$$\mathbb{V}_p \subset \mathbb{V}. \qquad (3.2)$$

Zdarzeniom, które występują w środowisku pracy, zostają przyporządkowane dwie możliwe wartości logiczne 0 lub 1, przy czym wartość 1 przypisujemy zdarzeniom, które zachodzą (prawdziwym), a 0 zdarzeniom, które nie zachodzą (fałszywym).

Przyjmuje się, że środowisko pracy $\mathbb{V}_p$, w którym występuje nieznany podzbiór zdarzeń, istotny dla występującego zagrożenia bezwzględnego oraz podzbiór rozpatrywanych makro- i mikrozdarzeń,jest zdarzeniem prawdziwym.

W pracy stosuje się podstawowe funktory logiczne alternatywy $\vee$, koniunkcji $\wedge$, równoważności $\equiv$, implikacji $\Rightarrow$ i negacji $\bar{}$.

Jeśli np. dwa zdarzenia e oraz g przedstawiają zdania logiczne, to zdarzenie "e lub g" zapisujemy, zgodnie z zasadami rachunku zdań w postaci alternatywy

$$e \vee g, \tag{3.3}$$

a zdarzenie "e i g" w postaci koniunkcji

$$e \wedge g. \tag{3.4}$$

Zdarzenie $e \vee g$ zachodzi, jeśli zachodzi co najmniej jedno ze zdarzeń; a zdarzenie $e \wedge g$ zachodzi, jeśli jednocześnie zachodzą obydwa zdarzenia. Możliwe są następujące przypadki [93]:

$$0 \vee 0 \equiv 0, \quad 0 \vee 1 \equiv 1, \quad 1 \vee 0 \equiv 1, \quad 1 \vee 1 \equiv 1, \tag{3.5}$$

$$0 \wedge 0 \equiv 0, \quad 0 \wedge 1 \equiv 0, \quad 1 \wedge 0 \equiv 0, \quad 1 \wedge 1 \equiv 1. \tag{3.6}$$

Występujący we wzorach znak równoważności $\equiv$ oznacza, że $e \equiv g$ zachodzi wtedy i tylko wtedy, gdy e i g mają tę samą wartość logiczną.

Przy rozważaniu większej liczby zdarzeń w celu uproszczenia zapisu przyjęto oznaczenie

$$e_{1:i} \equiv e_1 \vee e_2 \vee \cdots \vee e_i \qquad (i=1,2,3,\ldots,n; n \in N), \tag{3.7a}$$

$$e_{a:b:c} \equiv e_a \vee e_b \vee e_c. \tag{3.7b}$$

Zaprzeczeniem zdarzenia prawdziwego e, które zachodzi, jest zdarzenie fałszywe $\bar{e}$, które nie zachodzi. Zaprzeczeniem zdarzenia nieprawdziwego jest zdarzenie prawdziwe.

$$\bar{1} \equiv 0, \quad \bar{0} \equiv 1. \tag{3.8}$$

Ze wzorów (3.5) i (3.6) wynikają:
prawo wyłącznego środka

$$e \vee \bar{e} \equiv 1 \tag{3.9}$$

i prawo sprzeczności

$$e \wedge \bar{e} \equiv 0. \tag{3.10}$$

Ważne w zastosowaniach są prawa de Morgana

$$\overline{e \vee g} \equiv \bar{e} \wedge \bar{g}, \tag{3.11}$$

$$e \wedge g \equiv e \vee \bar{g}. \tag{3.12}$$

Następnym funktorem jest implikacja $\Rightarrow$. Możemy napisać, że zdarzenie g implikuje e albo g wynika z e, lub krótko, jeśli g to e, gdy zdanie $\bar{g} \vee e$ jest prawdziwe, tj.

$$(g \Rightarrow e) \equiv (\bar{g} \vee e). \tag{3.13}$$

Możliwe są następujące przypadki:

$$(0 \Rightarrow 0) \equiv 1,\ (0 \Rightarrow 1) \equiv 1,\ (1 \Rightarrow 0) \equiv 0,\ (1 \Rightarrow 1) \equiv 1. \tag{3.14}$$

Wynika stąd równoważność

$$(g \equiv e) \equiv [(g \Rightarrow e) \wedge (e \Rightarrow g)]. \tag{3.15}$$

Implikacja oznacza też wynikanie w sensie interferencyjnym, jeśli na mocy reguł interferencji można dojść od zdarzenia z do zdarzenia a za pośrednictwem interferencyjnie wynikających z siebie zdarzeń $\{z \Rightarrow y \Rightarrow \ldots \Rightarrow a\}$ (przechodniość implikacji).*)

Wyrazem tego jest prawo sylogizmu hipotetycznego [105]

$$[(g \Rightarrow f) \wedge (f \Rightarrow e)] \Rightarrow (g \Rightarrow e). \tag{3.16}$$

W dalszej analizie wykorzystamy jeszcze inne prawa logiczne [105,130a].
Z prawa modus ponendo ponens**) wynikają reguły wnioskowania [149] zwane:
a) reguła odrywania dla implikacji, b) reguła odrywania dla równoważności.

$$[g \wedge (g \Rightarrow e)] \Rightarrow e, \tag{3.17a}$$

$$[g \wedge (g \equiv e)] \Rightarrow e. \tag{3.17b}$$

Prawo transpozycji

$$(g \Rightarrow e) \Rightarrow (\bar{e} \Rightarrow \bar{g}). \tag{3.18}$$

Prawo dylematu konstrukcyjnego

$$[(g \Rightarrow e) \wedge (\bar{g} \Rightarrow e)] \Rightarrow e. \tag{3.19}$$

*) odwrotna kolejność liter alfabetu nie jest przypadkowa, gdyż jest zgodna z prowadzoną później analizą retrospektywną następstwa zdarzeń.

**) modus-sposób, reguła, ponо-twierdzę, ponens-stwierdzając

Prawo symplifikacji dla alternatywy

$$e \Rightarrow (e \vee g). \tag{3.20}$$

Prawo symplifikacji dla koniunkcji

$$(e \wedge g) \Rightarrow e. \tag{3.21a}$$

$$(e \wedge g) \Rightarrow g \tag{3.21b}$$

Ogólne prawo kompozycji dla alternatywy

$$[(g \Rightarrow e) \wedge (d \Rightarrow c)] \Rightarrow [(g \vee d) \Rightarrow (e \vee c)]. \tag{3.22}$$

Ogólne prawo kompozycji dla koniunkcji

$$[(g \Rightarrow e) \wedge (d \Rightarrow c)] \Rightarrow [(g \wedge d) \Rightarrow (e \wedge c)]. \tag{3.23}$$

Kładąc we wzorze (3.23) kolejno g≡d oraz e≡c, otrzymuje się dalsze tezy:

$$[(g \Rightarrow e) \wedge (g \Rightarrow c)] \Rightarrow [(g \Rightarrow (e \wedge c)], \tag{3.24}$$

$$[(g \Rightarrow c) \wedge (d \Rightarrow c)] \Rightarrow [(g \wedge d) \Rightarrow c)]. \tag{3.25}$$

Korzystając ze wzorów (3.11) i (3.18), wzory (3.7a) i (3.7b) przyjmują postać

$$\bar{e}_{1:1} \equiv \bar{e}_1 \wedge \bar{e}_2 \wedge \ldots \wedge \bar{e}_1, \tag{3.26a}$$

$$\bar{e}_{a:b:c} \equiv \bar{e}_a \wedge \bar{e}_b \wedge \bar{e}_c. \tag{3.26b}$$

Według koncepcji prakseologicznej do kategorii zdarzeń zaliczamy działanie rozumiane jako suma (całość) reakcji załogi na podstawie podejmowanych decyzji oraz stany i ich zmiany zachodzące w środowisku pracy, dotyczące jego parametrów, a spowodowane wcześniejszym działaniem zorientowanym na czynnik materialny i niematerialny; należy jedynie określić stopień pośredniości tych zdarzeń [103].

Podczas prowadzonej analizy płaszczyznę rozpatrywanych zdarzeń złożonych tworzą:

- mikrozdarzenia statyczne, przykładowo $es_i$ (gdzie i=1,2,3,...n; n∈N), które przedstawiają stany obiektów środowiska pracy definowane jako parametry środowiska pracy i stany, będące skutkiem działania (dotyczące więc załogi) definiowane jako sprawstwo,
- mikrozdarzenia kinetyczne, przykładowo $ek_i$, przedstawiające zmiany parametrów środowiska pracy i zmiany dotyczące załogi.

Celowe jest wprowadzenie pojęcia zdarzenia quasi-statycznego, przykładowo $eq_i$, które stanowi makrozdarzenie w stosunku do zdefiniowanych uprzednio

mikrozdarzeń. Na ogół zdarzenie quasi-statyczne składa się z określonej liczby zdarzeń kinetycznych lub/i statycznych, zachodzących jednocześnie lub posobnie, a tworzących określony proces, zachodzący w środowisku pracy [40].

Zdarzeniem quasi-statycznym jest proces urabiania, na który składają się różnorakie parametry środowiska pracy i ich zmiany, a który między innymi może być przyczyną niepożądanego skutku, przykładowo emisji strumienia pyłu do strumienia wentylacyjnego lub wzrostu naprężeń w górotworze.

Zdarzeniem quasi-statycznym jest również działanie kierownictwa, dozoru i załogi. Zgodnie z prakseologicznym modelem działania prowadzenie ruchu ZG przez jego kierownictwo oraz prowadzenie robót górniczych przez dozór i załogę, na podstawie podejmowanych decyzji, należy do kategorii działania [94].

Powiązanie człowieka ze zdarzeniami następuje przez działanie. Jeśli człowiek poprzez działanie, w wyniku powstałego następstwa zdarzeń, jest przyczyną określonego skutku, nazywamy go sprawcą; a skutek działania sprawstwem, które stanowi nieraz ważne uwarunkowanie następstwa zdarzeń występującego w ZG, a spowodowanego przez czynnik ludzki.

Kwalifikując jakieś zdarzenie do zdarzeń quasi-statycznych, kierujemy się kryterium złożoności i przyczynowości zdarzenia w rozpatrywanym następstwie zdarzeń, gdzie zdarzenie kinetyczne lub quasi-statyczne może stanowić przyczynę, a zdarzenie statyczne uwarunkowanie.

## 3.2. WARUNEK KONIECZNY I WYSTARCZAJĄCY NASTĘPSTWA ZDARZEŃ

Diachronią nazywamy procesy rozpatrywane ze względu na uporządkowanie zdarzeń w czasie [73]. Następstwo zdarzeń określa zasada determinizmu, która brzmi: "Każde zdarzenie jest jednoznacznie i w sposób konieczny wyznaczone przez ogół warunków, w jakich zachodzi" [130]. Ilekroć więc wystąpi ściśle określony zespół warunków, pojawia się nowe zdarzenie [15 s.71]. Stan możliwości danej zmiany poprzedza tę zmianę i ustaje z chwilą jej zajścia [95].

W prakseologii, ze względu na skomplikowany na ogół charakter kompleksu występujących zdarzeń, przyjęto, że gdy zastanawiamy się nad współwystępowaniem zdarzeń, mówimy o warunkach, a gdy nad następstwem zdarzeń - o przyczynach i skutkach. Przedmiotem rozważań są układy przyczynowe, w których przyczyna wyprzedza rozpatrywany skutek w czasie [113 s.21].

Stan w środowisku pracy bezpośrednio poprzedzający zmianę definiujemy jako warunek wystarczający następstwa zdarzeń.

Na warunek wystarczający określonego skutku składają się przyczyna, a nieraz i warunki główne (stałe) oraz warunki uboczne (przypadkowe), dzięki którym zjawisko nie ma charakteru bezwzględnego. Prawidłowość statystyczna zachodzi dzięki przyczynie i warunkom głównym, które występują we wszystkich przypadkach, gdy zajdzie rozpatrywany skutek; inaczej stanowią jego warunek konieczny [108 s.79].

Przykładowo płomień o koniecznej energii oraz obłok pierwotny wybuchowego pyłu stanowią przyczynę i warunek główny, czyli warunek konieczny inicjacji wybuchu.

Warunki uboczne stanowią uwarunkowanie przypadkowe następstwa zdarzeń, które może być progresywne, czyli sprzyjające lub regresywne, czyli nie sprzyjające do uzyskania rozpatrywanego (nieraz niepożądanego) skutku. Warunki uboczne decydują o rozmiarach, przebiegu, zasięgu rozpatrywanego skutku, co ma charakter probabilistyczny.

Przykładowo podczas wybuchu pyłu węglowego warunkami ubocznymi są między innymi udział części niepalnych stałych, wilgotność oraz rozdrobnienie pyłu [45]. Profilaktyka, zmierzająca do uniemożliwienia lub ograniczenia rozmiarów niepożądanego skutku, powinna być skierowana na przyczynę i warunki główne następstwa zdarzeń, przez stworzenie odpowiednich warunków ubocznych [108 s.80, 113 s.24].

Warunki uboczne mogą nawet uniemożliwić zajście niepożądanego skutku i to będzie przedmiotem prowadzonej analizy.

Warunek konieczny następstwa zdarzeń może tworzyć zdarzenie kinetyczne lub quasi-statyczne, będące przyczyną; może go również tworzyć zbiór zdarzeń, w którym zdarzenie kinetyczne lub quasi-statyczne stanowi przyczynę, a zdarzenie statyczne warunek główny następstwa zdarzeń.

Niech warunek konieczny $E_k$ tworzą zdarzenie kinetyczne ek oraz zdarzenie statyczne $es_1$ (stanowiące warunek główny, pośród wielu zdarzeń tworzących uwarunkowanie uboczne).

Zdanie logiczne: zbiór zdarzeń $E_k$ stanowiący warunek konieczny następstwa zdarzeń, a pojawiający się zawsze, gdy zachodzi przykładowo skutek gk, może zostać zapisane w sposób następujący. Zdarzenie gk implikuje zbiór zdarzeń $E_k$, czyli gk wynika z $E_k$ lub inaczej, jeśli gk to $E_k$ (które również jest zdarzeniem)

$$gk \Rightarrow E_k \equiv \{ek \wedge es_1\}. \tag{3.27}$$

Wynika to z reguły odrywania dla implikacji (wzór 3.17a)

$$[gk \wedge (gk \Rightarrow \mathbb{E}_k)] \Rightarrow \mathbb{E}_k. \tag{3.28}$$

Jeśli skutek jest prawdziwy i prawdziwa jest implikacja: $gk \Rightarrow \mathbb{E}_k$, to warunek konieczny jest prawdziwy.

Zgodnie z prawem transpozycji (wzór 3.18) oraz prawem de Morgana (wzór 3.12) otrzymuje się

$$gk \Rightarrow \mathbb{E}_k \equiv \{ek \wedge es_1\} \Rightarrow [\overline{\mathbb{E}}_k \equiv \{\overline{ek} \vee \overline{es}_1\} \Rightarrow \overline{gk}]. \tag{3.29}$$

Jest to równoznaczne z zaprzeczeniem co najmniej jednego ze składników istotnych warunku koniecznego, co z kolei implikuje zaprzeczenie skutku $\overline{gk}$. Zgodnie z regułą odrywania dla równoważności (wzór 3.17b) otrzymujemy

$$[gk \wedge (gk \equiv \mathbb{E}_w)] \Rightarrow \mathbb{E}_w. \tag{3.30}$$

Jeśli skutek jest prawdziwy i prawdziwa jest równoważność $gk \equiv \mathbb{E}_w$ (zgodnie z zasadą determinizmu [130]), to warunek wystarczający jest prawdziwy.

Zbiór zdarzeń $\mathbb{E}_w$, którego skutek jest pewny, nazywamy warunkiem wystarczającym zajścia oczekiwanego skutku. Zdarzenia, które tworzą warunek wystarczający, nazywamy składnikami istotnymi warunku wystarczającego. Równoczesne zajście zdarzeń stanowiących składniki istotne warunku wystarczającego tworzy warunek wystarczający do uzyskania skutku o oczekiwanym rozmiarze, rozpatrując zagadnienie czysto deterministycznie.

Jeśli zbiór zdarzeń $\mathbb{E}_w$ stanowi warunek wystarczający dla skutku gk, to $\mathbb{E}_w$ przedstawia tę samą wartość logiczną co zdarzenie gk (wzór 3.15) i może zostać wyrażone w sposób następujący:

$$gk \equiv \mathbb{E}_w \equiv \{ek \wedge es_1 \wedge es_2 \wedge \ldots \wedge es_i\} \qquad (i=2,3\ldots n;\ n \in N) \tag{3.31}$$

gdzie $ek \wedge es_1 \equiv \mathbb{E}_k$ - składniki istotne warunku koniecznego następstwa zdarzeń,

$es_2 \wedge \ldots \wedge es_i$ - warunki uboczne zajścia skutku gk.

Zaprzeczeniem wzoru (3.31), zgodnie ze wzorem (3.12) jest zbiór zdarzeń

$$\overline{gk} \equiv \overline{\mathbb{E}}_w \equiv \{\overline{ek} \vee \overline{es}_1 \vee \overline{es}_2 \vee \ldots \vee \overline{es}_i\}. \tag{3.32}$$

Zaprzeczenie określonego skutku $\overline{gk}$ przedstawia tę samą wartość logiczną co zaprzeczenie warunku wystarczającego $\overline{E}_w$, co z kolei jest równoznaczne z zaprzeczeniem co najmniej jednego ze składników istotnych warunku wystarczającego (wzór 3.32).

Wnioskowanie dotyczące możliwości uniknięcia niepożądanego skutku ostatecznego jak i niepożądanych skutków pośrednich, prowadzone w dalszych rozdziałach, będzie oparte na prawie transpozycji (wzór 3.18), tj. na niespełnieniu warunku koniecznego następstwa zdarzeń (wzór 3.29) [149], gdyż analiza oparta na niespełnieniu warunku wystarczającego (wzór 3.32) napotkałaby na trudności spowodowane jeszcze niedostateczną znajomością przebiegu zjawisk zachodzących w środowisku pracy.

Nie jest rzeczą możliwą objęcie warunkami doświadczenia wszystkich cech badanego obiektu [15 s.71]. Nie jesteśmy więc w stanie z góry określić warunku wystarczającego i możliwość zajścia określonego skutku musi być rozpatrywana probabilistycznie.

Określenie w przeszłości niektórych spośród warunków ubocznych zajścia rozpatrywanego skutku umożliwia na aktualnym etapie poznania zagrożenia bezwzględnego $Za_b$ podejście półdeterministyczne do rozpatrywanego środowiska pracy [100 s.289,100a].

W świetle tej metody środowisko pracy może być klasyfikowane alternatywnie: spełnia lub nie spełnia wymogów bezpieczeństwa.

Przykładowo, gdy analizowanym niepożądanym skutkiem jest powstanie obłoku pierwotnego warunkującego inicjację wybuchu pyłu węglowego przy kontakcie z czynnikiem termicznym, to przedtem musi jednocześnie zajść dwa zdarzenia, które stanowią warunek konieczny: osad wybuchowego pyłu węglowego oraz podmuch zapewniający odpowiednią zawiesinę pyłową w strumieniu wentylacyjnym, tj. 45 do 1000 [$g/m^3$] w przeliczeniu na czystą substancję węglową (dla węgli górnośląskich [44]).

Równocześnie występują różne warunki uboczne, czyli warunki zajścia tego zdarzenia, decydujące o takim lub innym składzie wybuchowego obłoku pierwotnego warunkującego np. gwałtowność późniejszego wybuchu. Przeprowadzone badania pozwalają ocenić wpływ udziału części stałych, niepalnych, wilgotności, rozdrobnienia, wymieszania pyłu, udziału części lotnych itd. [45,79] na warunki wybuchu.

Niektóre z wymienionych warunków ubocznych stanowią warunki progresywne, czyli sprzyjające nieopożądanemu skutkowi, zwiększające szanse utworzenia obłoku pierwotnego; inne regresywne, czyli nie sprzyjające, zmniejszające rozmiary rozpatrywanego skutku lub nawet uniemożliwiające jego zajście.

Mimo dokładnej znajomości omawianego zjawiska, przejawiającej się ustaleniem znacznej liczby warunków tworzenia obłoku pierwotnego pyłu węglowego, nie można jeszcze z całą pewnością stwierdzić, że został już poznany warunek wystarczający do negacji obłoku pierwotnego, ponieważ w warunkach ruchowych zdarzają się nieraz zaskakujące inicjacje wybuchu pyłu węglowego [132].

Przeprowadzona wówczas dokładna analiza retrospektywna zaistniałej aktywizacji zagrożenia ujawnia nieraz warunki uboczne tworzenia obłoku pierwotnego dotychczas nieznane, a dotyczące przykładowo różnych sytuacji ruchowych. Takie doświadczenia uzupełniają wiedzę na temat tworzenia się obłoku pierwotnego w warunkach ruchowych, wobec czego mogą powstać nowe, bardziej szczegółowe przepisy bezpieczeństwa dotyczące zagrożenia wybuchem pyłu węglowego.

W rozpatrywanym przykładzie można by stwierdzić, że nastąpiło uzupełnienie półdeterministycznego warunku następstwa zdarzeń, w wyniku którego tworzy się obłok pierwotny w warunkach ruchowych.

Wyodrębniony w dalszych rozważaniach warunek następstwa zdarzeń, przykładowo zbiór zdarzeń E, przedstawia półdeterministyczny warunek zajścia niepożądanego skutku gk (na obecnym etapie poznania występującego zagrożenia bezwzględnego). Wymaga to jednak przyjęcia następujących dodatkowych założeń:

- składniki istotne warunku koniecznego, czyli przyczyna i warunki główne następstwa zdarzeń poprzedzającego skutek, przyjmują zawsze wartość logiczną 1 (prawda),
- warunki progresywne, czyli mogące wystąpić warunki sprzyjające niepożądanemu następstwu zdarzeń, przyjmują również wartość logiczną 1,
- zaprzeczenie składnika istotnego warunku koniecznego lub/i warunku progresywnego przyjmuje wartość logiczną 0, przy czym rozróżnia się dwie możliwości:

1) jednoczesne zaprzeczenie składnika istotnego warunku koniecznego niepożądanego następstwa zdarzeń i przypisanego mu warunku progresywnego stwarza warunki regresywne dla niepożądanego następstwa zdarzeń, powodujące zaprzeczenie zarówno logiczne, jak i rzeczywiste składnika istotnego warunku koniecznego (zdarzenie takie zostanie ujęte w ramki przerywane [ ]),

2) zaprzeczenie tylko samego składnika istotnego warunku koniecznego stanowi jego zaprzeczenie logiczne, niekoniecznie równoznaczne z jego rzeczywistym zaprzeczeniem ze względu na zagrożenie bezwzględne występujące w środowisku pracy.

Wymienione założenia zostaną wykorzystane w rozdz.6 oraz dalszych i znajdą tam szersze uzasadnienie. Przykładowo skutek gk implikuje warunek konieczny $E_k$, z kolei na zasadzie symplifikacji dla alternatywy, (wzór 3.20) warunek konieczny $E_k$ implikuje warunek półdeterministyczny E:

$$gk \Rightarrow E_k \equiv \{ek \wedge es_1\} \Rightarrow E \equiv \{ek \wedge (es_1 \vee es_{2:j})\} \quad (j \in i=2,3,..n; n \in N), \qquad (3.33)$$

gdzie ek - zdarzenie kinetyczne,

$es_1$ - zdarzenie statyczne,
(stanowiące przyczynę i warunek główny niepożądanego następstwa zdarzeń, czyli warunek konieczny),

$es_{2:j}$ - możliwe warunki uboczne, które stanowią warunki progresywne, tzn ułatwiające zajście przykładowo zdarzenia $es_1$, stanowiącego składnik istotny warunku koniecznego uzyskania rozpatrywanego, niepożądanego skutku gk (na obecnym etapie poznania występującego zagrożenia bezwzględnego).

Zgodnie z prawem transpozycji (wzór 3.18) oraz prawami de Morgana (wzory 3.11 i 3.12) zaprzeczenie warunku półdeterministycznego (wzór 3.33) implikuje zaprzeczenie skutku $\overline{gk}$.

$$gk \Rightarrow E \equiv \{ek \wedge (es_1 \vee es_{2:j})\} \Rightarrow$$

$$\Rightarrow [\overline{E} \equiv \{\overline{ek} \vee \overline{(es_1 \vee es_{2:j})}\} \equiv \{\overline{ek} \vee \underbrace{\overline{es_1} \wedge \overline{es_{2:j}}}\} \Rightarrow \overline{gk}], \qquad (3.34)$$

gdzie $\overline{ek}$ - zaprzeczenie logiczne przyczyny rozpatrywanego niepożądanego następstwa zdarzeń,

$\underbrace{\overline{es_1} \wedge \overline{es_{2:j}}}$ - zaprzeczenie logiczne i rzeczywiste warunku głównego.

Zmiany w zakresie składników istotnych warunku koniecznego niepożądanego następstwa zdarzeń uzyskane przez odpowiedni dobór warunków ubocznych mogą wpłynąć na uzyskany skutek.

Przyjmując, że stworzone warunki regresywne dla niepożądanego następstwa zdarzeń wynikają z aktualnego stanu wiedzy na temat zagrożenia bezwzględnego występującego w środowisku pracy, można stwierdzić, że wzór (3.34) przedstawia warunek konieczny, ale nie wystarczający zaprzeczenia skutku $\overline{gk}$ (na obecnym etapie poznania).

Zastanawiając się nad warunkiem koniecznym następstwa zdarzeń, musimy nieraz rozważyć, które z wymienionych zdarzeń będących składnikami istotnymi warunku koniecznego stanowiło przyczynę, a które warunek główny następstwa zdarzeń.

Przykładowo, wybuch pyłu węglowego został zainicjowany podczas awarii przy transporcie w wyrobisku pochyłym; wóz wyładowany urobkiem wykoleił się, powodując utworzenie obłoku pierwotnego w pochylni; niemal równocześnie wykolejony wagon spowodował powstanie łuku elektrycznego wskutek przecięcia kabla elektrycznego, co w sumie stanowiło warunek konieczny zainicjowanego wybuchu pyłu węglowego.

Pojawiający się płomień stanowił przyczynę inicjacji wybuchu, a występujący niemal jednocześnie obłok pierwotny - warunek główny będący skutkiem wcześniejszej przyczyny w postaci podmuchu, następującego przy zapyleniu wyrobiska. Obok warunku koniecznego występowały warunki uboczne decydujące przykładowo o gwałtowności wybuchu lub jego zasięgu (wzór 3.33).

Skutek następstwa zdarzeń w postaci zdarzenia quasi-statycznego lub kinetycznego może się zamienić z kolei w przyczynę dalszego następstwa zdarzeń. Przykładowo strumień pyłu emitowany do strumienia wentylacyjnego, wskutek prowadzonych robót górniczych, stanowiący zdarzenie quasi-statyczne może stanowić przyczynę zdarzenia quasi-statycznego, jakim jest stężenie zapylenia w strumieniu wentylacyjnym lub zdarzenia kinetycznego, jakim jest sedymentacja, czyli opad pyłu wzdłuż drogi przepływu w strumieniu wentylacyjnym.

## 3.3. KONIECZNY ŁAŃCUCH ZDARZEŃ POPRZEDZAJĄCY SKUTEK

Według teorii kauzalistycznej w związku przyczynowym występuje nie kończący się łańcuch przyczyn i skutków; skutki zamieniają się w kolejne przyczyny, a przyczyny w skutki [113].

Każdy skutek zachodzący w środowisku pracy poprzedza łańcuch zdarzeń, którego ogniwa stanowią kolejne warunki konieczne następstwa zdarzeń. Rozpatrywany niepożądany skutek ostateczny: wypadek przy pracy, szkoda

materialna lub choroba zawodowa może stanowić ostatnie rozpatrywane ogniwo tego łańcucha zdarzeń.

Opracowanie skutecznej profilaktyki zmierzającej do poprawy stanu bezpieczeństwa wymaga uprzedniego ustalenia wszystkich istotnych przyczyn (ewentualnie i warunków głównych) następstwa zdarzeń.

Umożliwia to analiza retrospektywna zdarzeń bezpośrednio poprzedzających rozpatrywany skutek [139].

Model takiego łańcucha zdarzeń dobrze obrazują klocki domina [127] ustawione obok siebie (rys.3.1). Przewrócenie ostatniego klocka wymaga uprzedniego przewrócenia klocka przedostatniego i kolejno wszystkich klocków aż do pierwszego. Aby to nastąpiło, odległości b pomiędzy klockami muszą być mniejsze od ich wysokości h. Nierówność

$$b<h, \tag{3.35}$$

stanowi warunek konieczny następstwa zdarzeń. Nieuzyskanie kolejnego skutku pośredniego (określony klocek zbyt niski lub odległość do następnego klocka zbyt duża) uniemożlia rozpatrywane następstwo zdarzeń, gdyż łańcuch zdarzeń zostaje przerwany.

Zwiększenie wysokości klocków h ponad minimalnie niezbędną lub zmniejszenie odległości b pomiędzy klockami poniżej maksymalnie dopuszczalnej stanowi warunek progresywny następstwa zdarzeń, a działanie odwrotne warunek regresywny, mogący nawet uniemożliwić wystąpienie rozpatrywanego łańcucha zdarzeń.

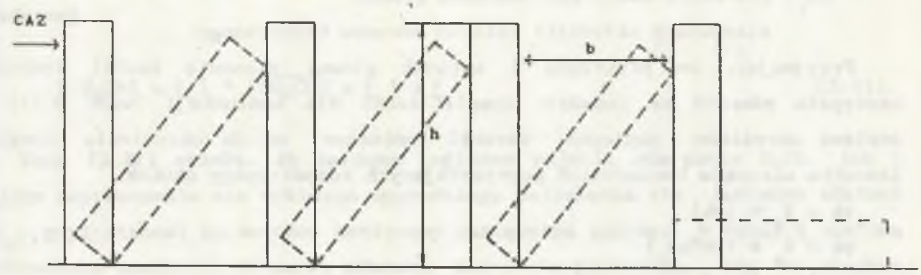
Czynnikiem aktywizacji łańcucha zdarzeń (CAZ) w środowisku pracy mogą być parametry środowiska pracy lub czynnik ludzki [24,27], które uruchamiają losowy łańcuch zdarzeń poprzedzający skutek ostateczny (rys.3.1).

Spośród zdarzeń mogących zachodzić w środowisku pracy zostaną wyodrębnione podzbiory zdarzeń $(Z_k, Y_k \ldots B_k, A_k)$

$$Z_k \subset V_p; \quad Y_k \subset V_p; \quad \ldots \; B_k \subset V_p; \; A_k \subset V_p, \tag{3.36}$$

które też są zdarzeniami, a stanowiące warunki konieczne występującego następstwa zdarzeń.

Przeprowadzona analiza retrospektywna zajścia niepożądanego skutku ostatecznego $W_VCh$ (wypadek lub/i choroba zawodowa) ma na celu określenie interesującego nas wycinka nieskończonego łańcucha zdarzeń, składającego się ze zbiorów zdarzeń stanowiących warunki konieczne następstwa zdarzeń, a poprzedzającego analizowany skutek $W_VCh$. Podejście takie zaproponował profesor A.Szczurowski do analizy retrospektywnej wypadku [138].




Rys.3.1. Model łańcucha zdarzeń poprzedzającego skutek zobrazowany klockami domina

Fig.3.1. Model of the chain of events preceding a harmfulness ilustrated by dominoes

W dalszych rozważaniach przyjęto następujące oznaczenia:

a) zbiory zdarzeń warunkujące następstwo zdarzeń:

$Z_k, Y_k, \ldots A_k$ - warunki konieczne,

$Z, Y, \ldots, A$ - warunki półdeterministyczne,

b) zdarzenia zachodzące w środowisku pracy:

zk, yk, ..., ak - zdarzenia kinetyczne,

zs, ys, ..., as - zdarzenia statyczne,

zq, yq, ..., aq - zdarzenia quasi-statyczne,

c) łańcuchy zbiorów zdarzeń stanowiących warunki

$Ł_k$ - konieczne następstwa zdarzeń,

$Ł$ - półdeterministyczne następstwa zdarzeń.

Dla częściej występujących zdarzeń przyjęto oznaczenia indywidualne.

Wychodząc od niepożądanego skutku ostatecznego $W_V Ch$ (wypadek lub/i choroba zawodowa) zostanie określony warunek konieczny jego zajścia w postaci zbioru zdarzeń $Z_k$ [40, 138, 139].

$$W_V Ch \Rightarrow Z_k \equiv \{zk \wedge zs_1\} \qquad (3.37)$$

gdzie zk - zdarzenie kinetyczne, przyczyna,

$zs_1$ - zdarzenie statyczne, warunek główny,

stanowiące składniki istotne warunku koniecznego.

Przyjmując, że przyczyna i warunek główny stanowią skutki innych następstw zdarzeń na zasadzie symplifikacji dla koniunkcji (wzór 3.21), zostaną określone następne warunki konieczne aż do określenia całego łańcucha warunków koniecznych poprzedzających rozpatrywany skutek.

$$zk \Rightarrow \mathbb{Y}_k \equiv \{yk\}$$

$$yk \Rightarrow \mathbb{X}_k \equiv \{xk \wedge xs_1\}$$

" " "

$$gk \Rightarrow \mathbb{E}_k \equiv \{ek \wedge es_1\}$$

" " "

$$bq \Rightarrow \mathbb{A}_k \equiv \{aq\}. \qquad (3.38)$$

W określonych miejscach prowadzonej w ten sposób analizy rozpatrywanego skutku ostatecznego, skutków pośrednich i ich przyczyn (i ewentualnie warunków głównych) dochodzimy do miejsca, w którym przyczyną następstwa zdarzeń jest nie pojedyncze zdarzenie kinetyczne, lecz określony proces zachodzący w środowisku pracy, czyli zdarzenie quasi-statyczne [40].

Rozpatrywany niepożądany skutek ostateczny $W_V Ch$ implikuje cały łańcuch koniecznych warunków od $\mathbb{Z}_k$ do $\mathbb{A}_k$.

$$W_V Ch \Rightarrow \mathbb{L}_k \equiv \left\{ \mathbb{Z}_k \Rightarrow \mathbb{Y}_k \Rightarrow \ldots \Rightarrow \mathbb{A}_k \right\}. \qquad (3.39)$$

Zgodnie z zasadą przechodniości implikacji, którą wyraża prawo sylogizmu hipotetycznego (wzór 3.16) oraz prawem kompozycji dla koniunkcji (wzór 3.24), otrzymuje się:

$$W_V Ch \Rightarrow \mathbb{L}_k \Rightarrow [(W_V Ch \Rightarrow \mathbb{Z}_k) \wedge (W_V Ch \Rightarrow \mathbb{Y}_k) \wedge \ldots \wedge (W_V Ch \Rightarrow \mathbb{A}_k)] \Rightarrow$$

$$\Rightarrow [W_V Ch \Rightarrow \{\mathbb{Z}_k \wedge \mathbb{Y}_k \wedge \ldots \wedge \mathbb{A}_k\}]. \qquad (3.40)$$

Na podstawie wzoru (3.40) można stwierdzić, że warunkiem koniecznym rozpatrywanego skutku ostatecznego $W_V Ch$ jest pojawienie się zbioru zdarzeń $\{\mathbb{Z}_k \wedge \mathbb{Y}_k \wedge \ldots \wedge \mathbb{A}_k\}$, którego składniki istotne tworzą warunki konieczne następstwa zdarzeń. Rozpowszechniony jest pogląd, że w momencie powstania wypadku sumują się wszystkie błędy popełnione uprzednio (składniki istotne warunku koniecznego następstwa zdarzeń).

Konieczność pojawienia się łańcucha zdarzeń wynika z prawa dylematu konstrukcyjnego (wzór 3.19), który prowadzi do stwierdzenia następstwa zdarzeń.

$$[(W_V Ch) \Rightarrow \vdash_k] \wedge [(\overline{W_V Ch}) \Rightarrow \vdash_k] \Rightarrow \vdash_k . \qquad (3.41)$$

Wzór (3.41) orzeka, że zarówno logiczne zajście zdarzenia $W_V Ch$, jak i jego zaprzeczenie nie wyklucza uprzedniego pojawienia się łańcucha zdarzeń $\vdash_k$, gdyż stanowi on warunek konieczny następstwa zdarzeń. W rozdz.5 zostaną określone konieczne łańcuchy zdarzeń, które się pojawiają, gdy ma miejsce wypadek lub choroba zawodowa. Dalsze rozważania na temat uogólnionej definicji zagrożenia, bezpieczeństwa pracy oraz półdeterministycznych łańcuchów zdarzeń będą prowadzone w rozdz.6.

## 4. GENEZA NIEPOŻĄDANYCH SKUTKÓW I STRUKTURA CELÓW W ZAKŁADZIE GÓRNICZYM

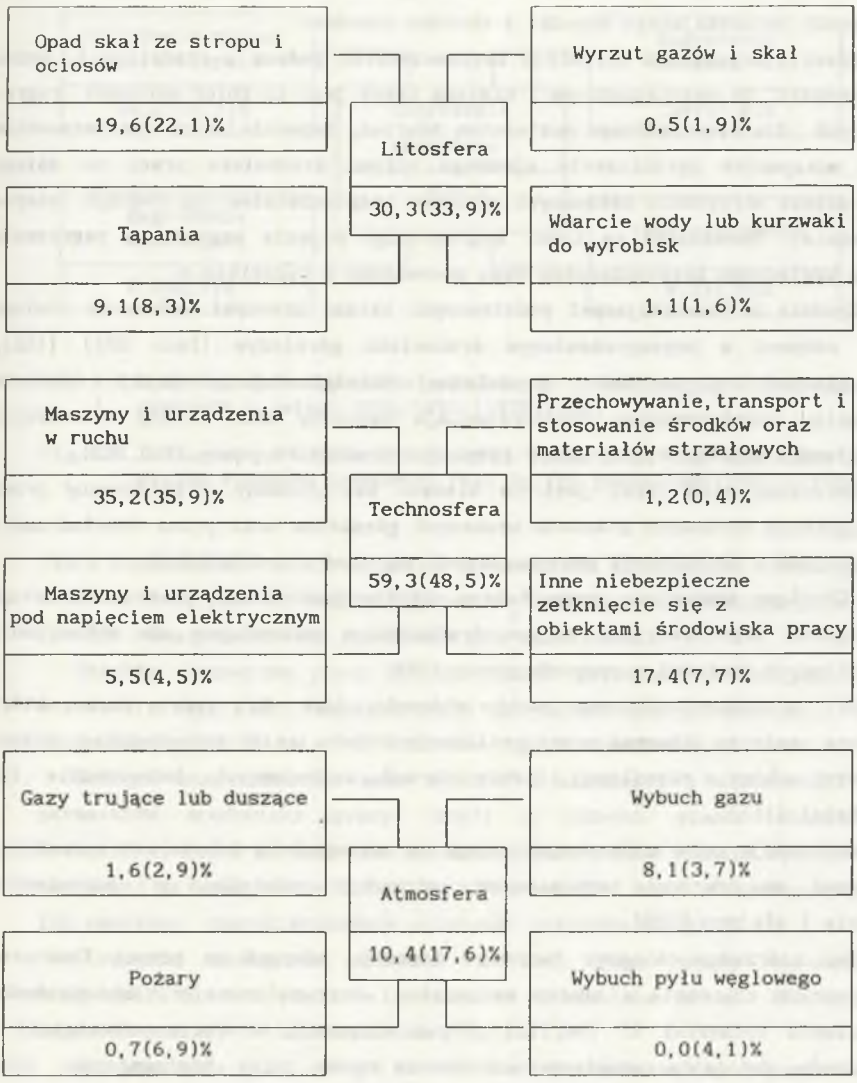
Podczas procesu wydobywczego, podobnie jak i w innych dziedzinach przemysłu, występuje rzeczywiste, czyli bezwzględne zagrożenie $Za_b$ dla załogi i ruchu zakładu górniczego, które odzwierciedlają statystyki: wypadkowa i chorób zawodowych (rys.4.1 oraz 4.2) [179s]. Część wypadków jest związana z awariami górniczymi lub technicznymi, które oprócz urazów powodują znaczne szkody materialne i stwarzają nieraz poważne zakłócenie ruchu zakładu górniczego.

Wypadki, choroby zawodowe oraz szkody materialne stanowią niepożądany skutek ostateczny prowadzonej działalności górniczej i w dalszych rozważaniach będą czasem określane krótko jako szkodliwość powstałą w ZG.

Zgodnie z przyjętymi tezami parametry środowiska pracy i sprawstwo, będące skutkiem działania, decydują o występowaniu zagrożenia wypadkowego i chorobowego. Porównanie parametrów środowiska pracy i sprawstwa z przyjętymi i nakazanymi poziomami bezpieczeństwa determinuje stan względnego zagrożenia w środowisku pracy. Opierajc się na pojęciach wprowadzonych w rozdziale 3, można obecnie rozwinąć definicję zagrożenia względnego, podaną w rozdziale 1.

Zagrożenie względne jest to stan w środowisku pracy, charakteryzujący się deficytem w stosunku do nakazanych poziomów bezpieczeństwa w zakresie parametrów środowiska pracy lub/i w zakresie sprawstwa, stwarzający warunki progresywne dla niepożądanego następstwa zdarzeń poprzedzającego szkodliwość (na obecnym etapie poznania zagrożenia bezwzględnego).

Istnieje znaczna różnorodność zagrożeń dla załogi i ruchu ZG ze strony litosfery, technosfery i atmosfery [121]. W wyniku prac prowadzonych w latach 1983-90 autor opracował, opublikował [24,27,28,29,36,40] oraz refero-




Rys. 4.1. Wpływ różnych czynników materialnych na statystykę śmiertelnych wypadków w latach 1986/1991 (1978/1982)

Fig. 4.1. Influence of different material factors on the statistics of fatal ac ident frequency rate in the years 1986/1991 (1978/82)

wał na konferencjach [35,39] modele następstwa zdarzeń w górniczym środowisku pracy porzedzającego wypadki i choroby zawodowe.

Rozwijając również definicję bezpieczeństwa podaną w rozdziale 1, można stwierdzić, że bezpieczeństwo i higiena pracy jest to zbiór warunków regresywnych dla niepożądanego następstwa zdarzeń, zapewniających wyeliminowanie lub maksymalne ograniczenie ujemnego wpływu środowiska pracy na załogę ZG, dzięki utrzymaniu nakazanych poziomów bezpieczeństwa (na obecnym etapie poznania). Rozważania na temat uogólnionego pojęcia względnego zagrożenia oraz względnego bezpieczeństwa będą prowadzone w rozdziale 6.

Zgodnie z obowiązującymi podstawowymi aktami prawnymi wydobycie powinno się odbywać w bezzagrożeniowym środowisku górniczym (faza BZa) [155], co stanowi cel nadrzędny prowadzonej działalności górniczej. Górnicze przepisy bezpieczeństwa odzwierciedlają aktualny stan wiedzy w zakresie możliwości uzyskania fazy BZa w górniczym środowisku pracy [110,162].

Wymieniony stan (BZa) jest na bieżąco kształtowany i korygowany przez osiągnięcia czołowych placówek naukowych górnictwa oraz przez doświadczenia wynikające z aktywizacji poszczególnych zagrożeń w przeszłości.

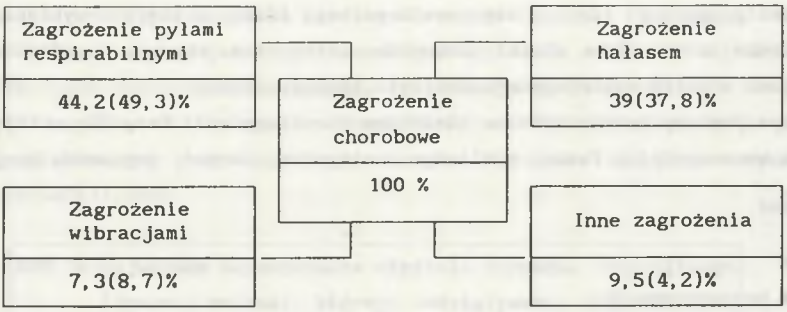
Górnicze środowisko pracy tworzą obiekty środowiska pracy oraz załoga powiązana organizacyjnie z tym środowiskiem zmierzająca do wytworzenia określonych wartości w procesie pracy [28].

Cel, z prakseologicznego punktu widzenia, jest to stan rzeczy, który załoga zamierza osiągnąć przez realizację zadań (celów pośrednich), stanowiących wektor o określonej liczbie zdarzeń, zachodzących jednocześnie lub po kolei [112].

Realizacja celu nadrzędnego polega na odpowiednim dobraniu i ustawieniu zdarzeń, aby zdarzenie będące celem nadrzędnym zaistniało w odpowiednim czasie i miejscu [103].

Cel nadrzędny osiągamy łącząc w łańcuchy zdarzeń za pomocą funktorów logicznych zdarzenia w sferze materialnej oraz związane z nimi niezbędne działania (rozdział 8) [96,111]. Przez zdarzenia w sferze materialnej i niezbędne działania rozumiemy: prowadzenie ruchu przez kierownictwo, ruch ZG, prowadzenie robót górniczych przez dozór i załogę, roboty górnicze, czynności robocze, zmiany parametrów środowiska pracy itd. Łańcuchy zdarzeń będą analizowane w rozdziałach od 5 do 8.

Ze względu na pojawianie się w środowisku pracy niepożądanych skutków pośrednich, warunkujących szkodliwość, aby osiągnąć cel nadrzędny, występuje




Rys. 4.2. Wpływ różnych czynników szkodliwych na statystykę chorób zawodowych uznanych w latach 1986/1991 (1978/1982)

Fig. 4.2. Influence of different harmful factors on the statistic of the mining diseases frequency rate in the years 1986/1991 (1978/82)

stale konieczność realizacji celów pośrednich. Niepożądane skutki pośrednie oraz nakazane poziomy bezpieczeństwa $PB_j$ umożliwiające realizację celów pośrednich będą przedmiotem rozważań w tym rozdziale.

Obiekty środowiska pracy tworzą czynnik materialny otaczający załogę w procesie pracy, który charakteryzuje się określonymi parametrami. Parametry środowiska pracy są to stany obiektów tego środowiska.

Deficyt bezpieczeństwa może wynikać z wielkości i właściwości różnych parametrów środowiska pracy, czyli z różnych stanów obiektów tego środowiska, które są stałe lub zmienne. Deficyt może również wynikać z niewymiernej na ogół natury ludzkiej, którą określa stan fizyczny, psychiczny lub umysłowy, charakteryzujący osobowość członków załogi ZG.

Śledzenie następstwa zdarzeń w celu jego oceny sprowadza się niejednokrotnie do pomiarów parametrów środowiska pracy. Dla niektórych zagrożeń pomiary te są stosunkowo proste.

Nim powstanie uraz, szkoda materialna lub nieodwracalne zmiany chorobowe u załogi pojawia się w środowisku pracy następstwo zdarzeń, które, jak to zaznaczono we wstępie, ma trzy kolejne fazy:

- bezzagrożeniową BZa, którą określają przyjęte poziomy bezpieczeństwa (wyróżnione w dalszym ciągu rozważań prowadzonych w tym rozdziale

wcięciem, pogrubionym pismem i obramowaniem) i w której realizowane jest bezpieczeństwo i higiena pracy,

- zagrożenia umownego (ZaU) i zagrożenia pełnego (ZaP), w których występują różnorodne niepożądane skutki pośrednie następstwa zdarzeń (wyróżnione wcięciem) wskutek występującego deficytu bezpieczeństwa.

Nakazane poziomy bezpieczeństwa niezbędne do osiągnięcia fazy BZa utrzymywane są we wszystkich fazach możliwego następstwa zdarzeń poprzedzającego szkodliwość.

## 4.1. FAZA BEZZAGROŻENIOWA

Fazę BZa determinują ustanowione poziomy bezpieczenstwa (PB). W celu oceny nie zmieniających się w sposób widoczny czy mierzalny parametrów środowiska pracy, biorąc pod uwagę trudne warunki pracy pod ziemią, wystarczy określić ich stan pożądany [55], czyli pożądane parametry środowiska pracy:

**PP ≡ Stan optymalny parametrów środowiska pracy w danych warunkach zapewniający osiągnięcie co najmniej minimum komfortu, przy pełnym bezpieczeństwie pracy, który odpowiada obecnemu rozeznaniu występującego zagrożenia bezwzględnego.**

Przykładowo jest to zgodny z obowiązującymi przepisami BHP stan maszyn, urządzeń, wyrobisk itd. [64,124].

W celu oceny mierzalnych parametrów środowiska pracy wprowadzono formalny próg zagrożenia [29]:

**FPZ ≡ Ekstremalnie dopuszczalne parametry środowiska pracy, które w razie przekroczenia lub niedoboru w stosunku do obowiązujących przepisów wymagają natychmiastowego przeciwdziałania..**

Przykładowo, osiągnięcie przez parametry środowiska pracy stężenia metanu >2%, tlenku węgla >0,002% czy tlenu <19% wymaga między innymi wycofania załogi z zagrożonego wyrobiska. W przypadku zagrożenia wypadkowego doły-

cącego zwłaszcza gazów (poza górnictwem) formalny próg zagrożenia (FPZ) czasem określa się jako wartość graniczną stężenia (WGS) lub NDSP (zgodnie z aktualnym Rozporządzeniem Ministra Pracy i Polityki Socjalnej - rozdział 7). Chwilowe oddziaływanie zwłaszcza gazów określa oddzielna wartość progowa NDSCh (czas oddziaływania czynnika szkodliwego do 30 minut).

Ze względu na występujące zagrożenie chorobowe, związane z gazami i pyłami formalny próg zagrożenia określa się jako najwyższe dopuszczalne stężenie [71,109]:

**NDS ≡ Najwyższe dopuszczalne stężenie czynnika szkodliwego (średnia ważona), którego oddziaływanie na pracownika w ciągu 8-godzinnego czasu pracy przez okres aktywności zawodowej nie powinno spowodować ujemnych zmian chorobowych.**

FPZ dla zagrożenia hałasem i wibracjami stanowi najwyższe dopuszczalne natężenie czynnika szkodliwego (NDN), które definiuje się podobnie do NDS.

Niektóre parametry środowiska pracy są trudne do śledzenia przez bezpośredni pomiar wielkości decydujących o następstwie zdarzeń, wtedy stosuje się metody pośrednie, przykładowo metody sejsmiczne [48,49], analityczne [58], prognostyczne [80] lub/i wielkość występującego zagrożenia ocenia się na podstawie zaliczenia pokładu, wyrobiska lub pomieszczenia do odpowiedniej kategorii, lub stopnia zagrożenia [59,79,82,83,131,144], ustanawianego przeważnie na podstawie budowy geomorfologicznej górotworu, stosowanych metod pracy, lub technologii wydobycia, albo częstości aktywizacji rozpatrywanego zagrożenia w przeszłości (przykładowo zagrożenie wyrzutowe, tąpaniami, wodne, metanowe).

W przypadku gdy bezpośrednia ocena zagrożenia przez porównanie do stanu pożądanego PP lub ustanowionych wartości progowych FPZ jest utrudniona, na ogół górnicze przepisy BHP, w zależności od zaliczenia pomieszczenia, wyrobiska, lub pokładu do odpowiedniej kategorii, lub stopnia zagrożenia, zalecają, lub nakazują stosowanie określonej profilaktyki technicznej [162]:

**PT ≡ Zastosowanie środków technicznych lub technologii wydobycia przepisanych przy występującej wielkości zagrożenia.**

Przykładowo profilaktyka techniczna polega na wcześniejszym wybieraniu pokładów nietąpiących czy pokładów o niższej metanonośności w celu odprężenia czy odgazowania pokładów pode- lub nadebranych.

Załoga ZG stanowi niewymierny i trudny do uchwycenia element natury biologicznej i socjologicznej, który oddziałuje na środowisko pracy. Obrazuje to ogrom trudności w ilościowej ocenie wpływu czynnika ludzkiego na stan bezpieczeństwa i higieny pracy [47,104,119,147,155].

Można jednak stwierdzić, że decyzje podejmowane przez załogę na różnych szczeblach kompetencji, stanowiące ważny element działania, w sposób istotny warunkują stan bezpieczeństwa w ZG oraz możliwe niepożądane następstwo zdarzeń poprzedzające szkodliwość [29,47,78,114,115]. Należy wyróżnić decyzje pożądane (DP) i błędne (DB):

| | |
|---|---|
| DP | ≡ **Decyzje umożliwiające na szczeblu członka załogi zakładu górniczego działanie, zgodne z obowiązującymi przepisami BHP, rozsądkiem czy prawami fizyki, wyrażające się między innymi późniejszymi pożądanymi czynnościami lub sprawstwem warunkującym pożądane roboty górnicze, lub określone paramatry środowiska pracy; a na wyższych szczeblach kompetencji działanie oparte na szczytowych osiągnięciach nauki górniczej i myśli inżynierskiej, warunkujące bezzagrożeniowy ruch ZG czy roboty górnicze.** |

Decyzja pożądana jest poziomem bezpieczeństwa. Przeciwieństwem decyzji pożądanej jest decyzja błędna, wskutek której może wystąpić deficyt bezpieczeństwa (rozdział 4.2).

DB ≡ Decyzje błędne z punktu widzenia obowiązujących przepisów BHP.

Zakwalifikowanie podjętej decyzji w sytuacji awaryjnej (np. podczas pożaru podziemnego) do którejś z wymienionych grup może być trudne, gdy podjęta decyzja jest wyborem mniejszego zła.

Najważniejszym poziomem bezpieczeństwa jest nakazana profilaktyka techniczna, gdyż czasem spełnia podwójną rolę: poziomu bezpieczeństwa determinu-

jącego wprost fazę BZa oraz środka sprzyjającego utrzymaniu innych nakazanych poziomów bezpieczeństwa (FPZ,PP).

Przykładowo profilaktyką techniczną przy zagrożeniu wypadkowym są: wentylacja, gdyż umożliwia utrzymanie stężenia metanu poniżej przyjętego FPZ, osłony maszyn umożliwiające uzyskanie stanu PP, a przy zagrożeniu chorobowym stosowanie odpylaczy w chodnikach drążonych kombajnowo, co może również wymagać rozwiązania określonych problemów dotyczących innych zagrożeń, przykładowo zagrożenia wybuchem metanu, zagrożenia związanego z utrzymaniem komfortu pracy [38,55,56].

Podejmowanie właściwych decyzji wymaga kształtowania osobowości członków załogi:

**KO ≡ Kształtowanie osobowości fizycznej, psychicznej i umysłowej członków załogi ZG.**

Przykładowo kształtowanie osobowości załogi osiąga się przez prowadzone treningi, szkolenie, systemy informacyjne stosowane na wszystkich szczeblach kompetencji [35,155].

Z kształtowaniem osobowości załogi wiąże się ściśle zagadnienie kontroli na różnych szczeblach kompetencji:

**K ≡ Kontrola zachodzących zdarzeń statycznych, kinetycznych czy quasi-statycznych.**

Przykładowo kontrola może dotyczyć prowadzenia robót górniczych przez załogę lub dozór, przebiegu robót górniczych, organizacji pracy, stosowania i utrzymywania nakazanych poziomów bezpieczeństwa. W fazie BZa w zakresie niektórych mierzalnych parametrów środowiska pracy jest stosowana kontrola automatyczna:

**KA ≡ System automatycznej, zdalnej kontroli mierzalnych parametrów środowiska pracy.**

Przykładowo kontrolę automatyczną stanowią metanometria automatyczna wyłączająca, rejestrująca lub zdalny pomiar stężenia zapylenia [3,86,123].

Faza bezzagrożeniowa:

> BZa ≡ Stan w środowisku pracy zapewniony przez: utrzymanie w warunkach ruchowych nakazanych poziomów bezpieczeństwa PP,FPZ,PT,DP,KO,PT,K i KA, dotychczas zdefiniowanych oraz zdefiniowanych w dalszej części rozdziału.

## 4.2. FAZA ZAGROŻENIA UMOWNEGO

Stan odbiegający od fazy BZa określa się jako deficyt bezpieczeństwa, występujący w środowisku pracy. Oznacza to powiększenie się zagrożenia bezwzględnego.

ZaU ≡ Stan w środowisku pracy spowodowany występującym deficytem bezpieczeństwa, chwilowo bez możliwości szkodliwości [127].

Deficyt bezpieczeństwa w zakresie parametrów środowiska pracy oznaczono przez Za. Przykładami są:

$Za_{PP}$ - odchylenie od PP,

$Za_{FPZ}$ - niedotrzymanie FPZ,

$Za_{PT}$ - niestosowanie lub wadliwe stosowanie przepisanej PT, warunkujące nieraz deficyty $Za_{FPZ}$, $Za_{PP}$,

$Za_{KA}$ - niestosowanie lub wadliwe stosowanie systemu KA.

Deficyt bezpieczeństwa po stronie czynnika ludzkiego, czyli sprawstwo progresywne oznaczono przez Sa. Jest to stan w środowisku pracy będący skutkiem działania na ogół poprzedzonego podjętą błędną decyzją (DB). Przykładami sprawstwa progresywnego są:

$Sa_{PT}$ - w zakresie stosowania PT, warunkujące deficyt $Za_{PT}$,

$Sa_{KO}$ - w zakresie KO załogi, warunkujące na ogół błędne działanie,

$Sa_{K}$ - w zakresie K, załogi lub parametrów środowiska pracy,

$Sa_{KA}$ - w zakresie KA, warunkujące deficyt $Za_{KA}$,

$Sa_{D}$ - w zakresie podjętej decyzji.

### 4.2.1. Zagrożenie wypadkowe

Górny kres fazy ZaU, w przypadku zagrożenia wypadkowego, stanowi osiągnięcie przez parametry środowiska pracy rzeczywistego progu zagrożenia:

RZ ≡ Parametry środowiska pracy, które pod wpływem czynnika aktywizacji łańcucha zdarzeń (CAZ) umożliwiają jego aktywizację.

Przykładami rzeczywistego progu zagrożenia wypadkowego są:

$RZ_l$ - stan równowagi w górotworze (litosfera) pomiędzy naprężeniami a jego wytrzymałością lub pomiędzy siłami spójności z calizną a siłą ciążenia, niecałkowicie jeszcze odspojonej bryły skalnej,

$RZ_t$ - stan równowagi w obiekcie technicznym (technosfera) pomiędzy naprężeniami a jego wytrzymałością,

$RZ_{gw}$ - stężenie metanu, lub innego wybuchowego gazu (atmosfera), w zakresie jego wybuchowości,

$RZ_{gs}$ - parametry strumienia wentylacyjnego niebezpieczne dla zdrowia lub życia załogi ze względu na własności trujące, lub duszące gazów, albo na inne parametry (ciśnienie, prędkość, temperatura),

$RZ_c$ - stan obiektów środowiska pracy niebezpieczny dla życia lub zdrowia w razie zetknięcia z człowiekiem (elementy maszyn lub urządzeń, znajdujące się w ruchu, lub pod napięciem elektrycznym niebezpiecznym dla życia, lub zdrowia oraz wszelkie sztywne, kanciaste, ostre przedmioty),

$RZ_p$, $RZ_w$ - obłok pierwotny lub wtórny wybuchowego pyłu węglowego.

Faza ZaU stanowi przedział czasowy stworzony obowiązującymi przepisami BHP, który umożliwia jeszcze ingerencję załogi podczas niepożądanego następstwa zdarzeń. Przeprowadzenie kontroli umożliwia naprawę popełnionych błędów w środowisku pracy. Może to nastąpić zanim:

- zostanie osiągnięty rzeczywisty próg zagrożenia wypadkowego; w przypadku niektórych zagrożeń lub
- nastąpi aktywizacja ze strony czynnika ludzkiego, gdyż na ogół obiekty środowiska pracy przedstawiają rzeczywisty próg zagrożenia $RZ_c$ (mimo że czasem przedstawiają stan PP, zgodnie z obowiązującyni przepisami BHP).

W celu uświadomienia załodze występowania fazy ZaU stosowana jest kontrola. Odpowiednie działanie podjęte w wyniku przeprowadzonej kontroli może maksymalnie przybliżyć stan środowiska pracy do fazy BZa.

Kontrola może przykładowo dotyczyć pomiaru wielkości występujących parametrów środowiska pracy, ich zmian, stanu obiektów środowiska pracy, wykonywanych robót górniczych, czy zachowania załogi.

4.2.2. Zagrożenie chorobowe

Bezwzględne zagrożenie chorobowe tworzą wszystkie czynniki szkodliwe występujące w środowisku pracy, które wskutek długotrwałego oddziaływania na załogę mogą spowodować nieodwracalne zmiany chorobowe, przykładowo spowodowane pyłem respirabilnym, hałasem, wibracjami, promieniowaniem jonizującym, czynnikami technologicznymi lub biologicznymi [27,52,68,77,96a, 98,126].

Deficyt bezpieczeństwa po stronie parametrów środowiska pracy stanowi ich odchylenie od formalnego progu zagrożenia FPZ, określonego dla rozpatrywanego czynnika szkodliwego, przy czym czynnik czasowy narażenia odgrywa zasadniczą rolę ($Za_{FPZ}$, $Za_{NDS}$, $Za_{NDN}$).

W fazie ZaU zagrożenia chorobowego, by nie dopuścić do nie kontrolowanej ekspozycji załogi na czynniki szkodliwe, stosowana jest wymieniona uprzednio kontrola pomiarowa parametrów środowiska pracy oraz stosowane są ochrony osobiste [9,10,62,90,120,156]:

| | | |
|---|---|---|
| **OO** | ≡ | **Osobisty sprzęt mający na celu uniknięcie lub zmniejszenie skutków niebezpiecznego zetknięcia się załogi z obiektami środowiska pracy.** |

Przykładami ochron osobistych są wkładki do uszu, rękawice antywibracyjne, maski przeciwpyłowe i gazowe, nakolanniki.

Oprócz poziomów bezpieczeństwa po stronie techniki prowadzona jest kontrola po stronie medycznej [98a]:

| | | |
|---|---|---|
| **KM** | ≡ | **Okresowe badania załogi prowadzone w celu jak najwcześniejszego wykrycia początków ewentualnych zmian chorobowych u załogi.** |

Przykładowo poziomem bezpieczeństwa jest okresowa obowiązkowa kontrola rentgenograficzna płuc osób narażonych na kontakt z kolagenowym pyłem respirabilnym.

W celu oceny występującego zagrożenia chorobowego w fazie ZaU przy przekroczonym formalnym progu zagrożenia FPZ ustanowiono, oprocz dotychczas wprowadzonych poziomów bezpieczeństwa dla niektórych zagrożeń, statystyczny próg zachorowalności [116,153]:

SPZ = Dawka czynnika szkodliwego określona statystycznie, na jaką może być narażona załoga, przy założonym ryzyku zawodu w okresie obrachunkowym, która nie dopuszcza do nieodwracalnych zmian chorobowych w organizmie, a które można by przyczynowo wiązać z rozpatrywanym czynnikiem szkodliwym.

W przypadku czynników szkodliwych występujących w środowisku pracy o właściwościach kumulowania się w organizmie (szkodliwe oddziaływanie respirabilnego pyłu) możliwe jest wyznaczenie sumarycznej dawki narażenia:

$$\sum_{i=1}^{n} S_i\tau_i = S_1\tau_1 + S_2\tau_2 + \ldots + S_n\tau_n \qquad (4.1)$$

lub średniego stężenia czynnika szkodliwego S w czasie dłuższego okresu narażenia $\tau$:

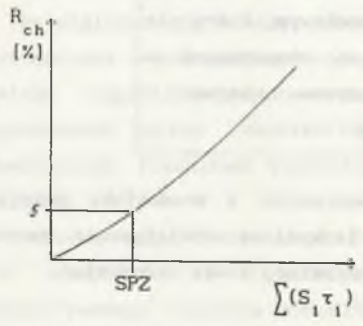
$$S = \frac{\sum_{i=1}^{n} S_i\tau_i}{\tau} \qquad (4.2)$$

gdzie: $S_1, S_2, \ldots, S_n$ - zmierzone stężenie czynnika szkodliwego,
$\tau_1, \tau_2, \ldots, \tau_n$ - okresy oddziaływania czynnika szkodliwego.

Wieloletnie badania medyczne i techniczne przeprowadzone na ogromnej populacji zatrudnionych dotyczące zarówno czynników narażenia, jak i rzeczywistych skutków chorobowych pozwalają określić statystyczne ryzyko zachorowania ($R_{ch}$) w powiązaniu z dawką czynnika szkodliwego

$$R_{ch} = f\left[\sum_{i=1}^{n} (S_i\tau_i)\right]. \qquad (4.3)$$

Rys. 4.3 przedstawia przykładowo zależność (4.3) dla danego ZG odznaczającego się określonym stopniem mechanizacji, parametrami fizykochemicznymi wydobywanej kopaliny, stosowanymi środkami profilaktyki technicznej w zakresie zagrożenia pyłowego itd.




Rys. 4.3. Zależność $R_{ch}=f[\sum_{i=1}^{n}(S_i\tau_i)]$

Fig. 4.3. Relation $R_{ch}=f[\sum_{i=1}^{n}(S_i\tau_i)]$

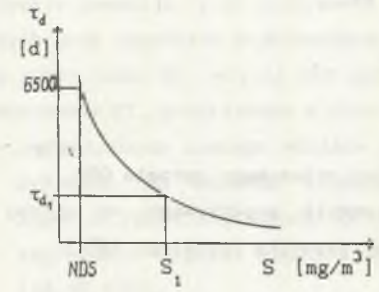
Uznając ryzyko $R_{ch}$ = 5[%], związane z wykonywanym zawodem jeszcze za dopuszczalne, na podstawie rys. 4.3 można wyznaczyć statystyczny próg zachorowalności SPZ (rys. 4.3).

SPZ stanowi górny kres fazy zagrożenia umownego dla zagrożenia chorobowego, gdy jest stosowany kierowany system zatrudnienia. W związku z wprowadzonym poziomem bezpieczeństwa SPZ może zostać przyjęty następny poziom bezpieczeństwa - kierowany system zatrudnienia [26, 75, 101], stosowany w fazie ZaU zagrożenia chorobowego:

**KSZ ≡ Klasyfikacja poszczególnych stanowisk pracy ze względu na występujące tam parametry środowiska pracy, stanowiące deficyt bezpieczeństwa pracy, rejestracja czasu ekspozycji i kierowanie załogi na poszczególne stanowiska pracy zależnie od pochłoniętej dawki narażenia.**

Kierowany system zatrudnienia jest nieraz stosowany przy zagrożeniu pyłowym, zagrożeniu hałasem, wibracjami i gazami trującymi [26,46]. W niektórych przypadkach uznano, że SPZ przy pyle respirabilnym wyznacza zależność [75, 153]:

$$SPZ = S\,\tau_d. \qquad (4.4)$$




Rys. 4.4. Zależność $\tau_d$(S)
Fig. 4.4. Relation $\tau_d$(S)

Zależność (4.4) przedstawia hiperbolę, która określa dopuszczalną liczbę przepracowanych dniówek $\tau_d$ od średniego stężenia zapylenia S (rys. 4.4) [153].

Rozpatrując rozwój zagrożenia chorobowego w fazie ZaU przy niestosowaniu kierowanego systemu zatrudnienia, by nie dopuścić do aktywizacji zagrożenia, należy stosować ochrony osobiste (OO).

Wartość $\tau_d$=6500[d] oznacza maksymalnie dopuszczalną liczbę przepracowanych dniówek przy stężeniu zapylenia S=NDS w czasie całego wieku produkcyjnego [153].

## 4.3. FAZA ZAGROŻENIA PEŁNEGO

ZaP ≡ Stan w środowisku pracy spowodowany występującym deficytem bezpieczeństwa chwilowo z możliwością szkodliwości [127].

### 4.3.1. Zagrożenie wypadkowe

Przejście zagrożenia z fazy ZaU do fazy ZaP następuje pod wpływem czynnika aktywizacji łańcucha zdarzeń:

CAZ ≡ Zdarzenie kinetyczne lub quasi-statyczne, zachodzące w środowisku pracy, aktywizujące konieczny łańcuch zdarzeń od strony parametrów środowiska pracy, lub od strony czynnika ludzkiego.

Przykładami CAZ od strony parametrów środowiska pracy są:
- wzrost naprężeń lub odprężenie górotworu, które może zburzyć równowagę pomiędzy naprężeniami a wytrzymałością górotworu lub pomiędzy siłami spójności z calizną a siłą ciążenia niecałkowicie jeszcze odspojonej bryły skalnej,
- otwarty ogień,
- nagły ruch maszyny lub urządzenia,

- narastanie stężenia gazów trujących lub duszących, albo zmiana innych parametrów strumienia wentylacyjnego [34].

Przykładami CAZ od strony czynnika ludzkiego są:

- dotyk,
- utrata równowagi,
- potknięcie [128],
- zderzenie,
- wejście do nieprzewietrzanego wyrobiska, bez założonego sprzętu ODO.

Istotą fazy ZaP jest aktywizacja zagrożenia wypadkowego od strony parametrów środowiska pracy (AZ) lub od strony czynnika ludzkiego ($AZ_c$):

AZ ≡ niebezpieczne zmiany parametrów środowiska pracy (CAZ - parametry środowiska pracy).

Przykładami aktywizacji zagrożenia od strony parametrów środowiska pracy są:

$AZ_l$ - awaria górnicza (tąpnięcie, obryw, wyrzut, wdarcie wody lub kurzawki do wyrobisk górniczych) [102,144],

$AZ_t$ - awaria techniczna (uszkodzenia maszyny lub urządzenia) [31,142],

$AZ_s$ - ruch obiektu, który powinien być nieruchomy lub pojawienie się napięcia niebezpiecznego dla zdrowia lub życia, w elemencie maszyny, który powinien być bez napięcia, zmiana parametrów strumienia wentylacyjnego w zakresie szkodliwym dla życia, lub zdrowia załogi (gazy trujące lub duszące, ciśnienie, prędkość, temperatura); przykładowo wskutek niekontrolowanego załączenia urządzenia, prowadzonej roboty strzałowej, trwającego pożaru podziemnego itd [87,133,133d],

$AZ_p$ - wybuch metanu, innego gazu lub wybuch obłoku pierwotnego pyłu węglowego [79],

$AZ_w$ - wybuch obłoków wtórnych [44].

Aktywizacja zagrożenia od strony czynnika ludzkiego:

$AZ_c$ - nie kontrolowana czynność, w wyniku której dochodzi do niebezpiecznego zetknięcia załogi z obiektami środowiska pracy, polegająca przykładowo na dotyku elementu maszyny lub urządzenia znajdującego się w ruchu, albo pod napięciem elektrycznym niebezpiecznym dla życia, lub zdrowia, poślizgnięciu się, uderzeniu się o sztywny obiekt środowiska pracy, wejściu do atmosfery beztlenowej itd. [87,128,134].

Aktywizacje zagrożenia $AZ_i$, $AZ_t$, $AZ_p$ i $AZ_w$ na ogół połączone są ze znacznymi stratami materialnymi i wypadkami zbiorowymi; a aktywizacje $AZ_s$ lub/i $AZ_c$ zwykle powodują tylko przerwanie procesu pracy bez większych strat materialnych przy wypadkach pojedynczych, których jednak, jak wynika ze statystyki, w sumie może być więcej niż wypadków zbiorowych. W fazie ZaP czasem jest stosowana PT, przykładowo w celu:

- ograniczenia zasięgu skutków ewentualnej AZ przez zastosowanie: zapór pyłowych lub wodnych, w przypadku zagrożenia wybuchem pyłu węglowego, zapór w razie zagrożenia wyrzutowego, tam przy zagrożeniu pożarowym lub zagrożeniu nagłym wdarciem wody, lub kurzwaki do wyrobisk górniczych [44,59,144],
- neutralizacji CAZ, przez zastosowanie automatycznie działającego urządzenia gaśniczego w przypadku zagrożenia pożarem egzogenicznym lub odpowiedniego prowadzenia wentylacji w przypadku zagrożenia pożarem endogenicznym [12,133d].

W razie aktywizacji zagrożenia wypadkowego stosowanie ochron osobistych stanowi ostatni poziom bezpieczeństwa przed niebezpiecznym zetknięciem się załogi z obiektami środowiska pracy. Przykładami ochron osobistych są: hełm, ubranie robocze, buty, rękawice, nakolanniki [62].

Dalszy poziom bezpieczeństwa w razie AZ wypadkowego stanowią systemy alarmujące [59,82,135,144]:

**SA ≡ Systemy informujące załogę ZG w przypadku niektórych zagrożeń o występowaniu fazy zagrożenia pełnego w celu umożliwienia efektywnego zastosowania ochron osobistych i samoratowania.**

Przykładami są systemy alarmujące przy zagrożeniu pożarowym, wodnym, wyrzutowym oraz metanometria automatyczna alarmująca.

Określone stadium rozwoju zagrożenia wypadkowego w środowisku pracy w fazie ZaP tworzy zdarzenie wypadkowe [67a,155]:

ZW ≡ Nagłe, niespodziewane i nieplanowane zdarzenie kinetyczne, powodujące niebezpieczne zetknięcie załogi z obiektami środowiska pracy (wypadek lub prawie że wypadek).

Biorąc pod uwagę stosunkowo delikatną budowę ciała ludzkiego każde zetknięcie się z obiektami środowiska pracy, które stwarza zagrożenie dla zdrowia lub życia, należy uważać za niebezpieczne.

ZW może wynikać: z aktywizacji zagrożenia ze strony parametrów środowiska pracy (AZ) przy obecności załogi lub z aktywizacji zagrożenia ze strony czynnnika ludzkiego ($AZ_c$) przy rzeczywistym progu zagrożenia ze strony parametrów środowiska pracy ($RZ_c$ lub $RZ_{gs}$), przykładowo wskutek bezpośredniego mechanicznego zetknięcia się załogi ze sztywnymi obiektami, z atmosferą o parametrach znacznie różniących się od normalnych, znalezienia się w zawale, przeskoku łuku elektrycznego bez uprzedniego dotyku itd.

ZW nie musi w konsekwencji spowodować urazu, lecz każde ZW zawiera w sobie potencjalną możliwość spowodowania urazu w wyniku następstwa zdarzeń [53].

ZG jest zobowiązany do organizacji pierwszej pomocy [140,162]:

| | | |
|---|---|---|
| **P** | **≡** | **Udzielanie doraźnej pomocy medycznej na miejscu wypadku w celu ograniczenia skutków zdarzenia wypadkowego.** |

W razie katastrofy górniczej lub większej awarii technicznej organizowana jest akcja ratownicza [12]:

| | | |
|---|---|---|
| **R** | **≡** | **Akcja ratownicza organizowana w celu ratowania załogi i zakładu górniczego.** |

O ciężkości doznanego urazu decydują okoliczności, w jakich nastąpiło ZW, czyli zbieżność uwarunkowań:

ZU ≡ Losowe uwarunkowanie decydujące o ciężkości doznanego urazu.

Przykładowo zbieżność uwarunkowań (progresywnych lub regresywnych) może wynikać z chwilowej pozycji ciała, uniku, refleksu, rozmiarów ciała [28].

W wyniku zbieżności uwarunkowań progresywnych dla niepożądanego następstwa zdarzeń może nastąpić uraz u pracownika spowodowany wzajemnym oddziaływaniem na siebie obiektu i człowieka:

U ≡ Uszkodzenie anatomicznej budowy ciała ludzkiego lub funkcjonowania jego organów wewnętrznych

Według obowiązujących przepisów BHP [155] wypadek przy pracy ma miejsce, gdy są spełnione cztery warunki:

W ≡ Niebezpieczne zetknięcie się załogi z obiektami środowiska pracy:
- trwa nie dłużej niż czas jednej zmiany roboczej,
- wywołane jest przyczyną zewnętrzną,
- pozostaje w związku z pracą,
- powoduje chorobę, uszczerbek na zdrowiu lub śmierć pracownika.

4.3.2. Zagrożenie chorobowe

W przypadku deficytu bezpieczeństwa w zakresie formalnego progu zagrożenia $Za_{FPZ}$ sprawstwo progresywne w zakresie kierowanego systemu zatrudnienia lub/i ochron osobistych $Sa_{KSZ} \vee Sa_{OO}$ może warunkować aktywizację zagrożenia chorobowego:

$AZ_{ch}$ ≡ nie kontrolowana ekspozycja załogi na czynniki szkodliwe występujące w środowisku pracy.

$AZ_{ch}$ może doprowadzić do osiągnięcia w środowisku pracy rzeczwistego progu zagrożenia chorobowego [98a,152]:

$RZ_{ch}$ ≡ Dawka czynnika szkodliwego oznaczająca początek zrazu niezauważalnych, nieodwracalnych zmian chorobowych w organizmie narażonego.

Poziomem bezpieczeństwa w fazie ZaP jest profilaktyka medyczna:

| | | |
|---|---|---|
| **PM** | ≡ | **Badania medyczne mające na celu określenie rozmiaru występujących zmian chorobowych, leczenie szpitalne, ambulatoryjne, sanatoryjne oraz rehabilitacja zawodowa.** |

Przykładowo profilaktyka medyczna ma na celu określenie rozmiaru nieodwracalnych zmian chorobowych w organizmie członka załogi w celu odsunięcia poszkodowanego od dalszego narażenia na czynnik szkodliwy; ma również na celu wzmocnienie organizmu dla ułatwienia samoobrony przed działaniem czynników szkodliwych lub przystosowanie pracowników do innego zawodu [17].

O możliwości wystąpienia nieodwracalnych zmian chorobowych u załogi decyduje zbieżność uwarunkowań. ZU w przypadku zagrożenia chorobowego oznacza: indywidualną odporność narażonego, warunki w miejscu zamieszkania, intensywność pracy, wpływy innych czynników szkodliwych niż rozpatrywany itd. [52,77,125,126].

W wyniku osiągnięcia $RZ_{ch}$ mogą wystąpić nieodwracalne zmiany chorobowe u narażonego:

NZ ≡ Nieodwracalne zmiany chorobowe u członka załogi ZG związane z czynnikiem szkodliwym występującym w środowisku pracy.

Przykładami nieodwracalnych zmian chorobowych są: pylica, nadwyrężenie stawów spowodowane wibracjami, osłabienie słuchu nie związane z wiekiem, uszkodzenie rzepki itd.

Nieodwracalne zmiany w organizmie stanowią podstawę uznania choroby zawodowej przez inspektora sanitarnego stopnia wojewódzkiego lub jednostkę upoważnioną przez niego [161]:

Ch ≡ Ostra lub przewlekła choroba, związana z wykonywanym zawodem i spowodowana nieodpowiednimi warunkami lub istotą samej pracy, gdy czas oddziaływania czynnika szkodliwego przekracza 8 h, po wykazaniu związku nieodwracalnych zmian chorobowych z warunkami w dotychczasowych miejscach zatrudnienia poszkodowanego itd.

Chorobami zawodowymi są tylko te choroby, które są wymienione w wykazie chorób zawodowych.

## 4.4. PORÓWNANIE ZAGROŻENIA WYPADKOWEGO I CHOROBOWEGO

Zatrucie tlenkiem węgla stanowi przykład czynnika szkodliwego, którego skutki oddziaływania na organizm ludzki mogą stanowić warunek konieczny zarówno wypadku, jak i choroby zawodowej w zależności od stężenia czynnika szkodliwego oraz czasu narażenia.

Wzrost stężenia CO w warunkach normalnych może nastąpić w związku z prowadzonymi robotami (przykładowo pracą lokomotywy o napędzie silnikiem Diesla lub prowadzonymi robotami strzałowymi) albo w związku z błędną czynnością (w wyniku której następuje np. otwarcie tamy wentylacyjnej w przekopie łączącym prąd świeżego powietrza z prądem powietrza zużytego).

W warunkach awaryjnych wzrost stężenia CO może nastąpić w wyniku wybuchu pyłu węglowego, metanu lub gazu pożarowego, albo pożaru egzo- lub endogenicznego.

Wartości progowe stężeń w przypadku CO są następujące [71]:

| WGS[%] | WGS[mg/m$^3$] | NDS[mg/m$^3$] |
|---|---|---|
| 0,002 | 50 | 20 |

Górnicze przepisy BHP zawierają jedynie wartość WGS[%] (pierwszą z podanych wartości). Przekroczenie wartości WGS w górnictwie może nastąpić zarówno w warunkach normalnych, jak i w warunkach awaryjnych. W niektórych gałęziach przemysłu (poza górnictwem) obowiązują zarówno wartości progowe NDS, jak i WGS [71]. Przy stężeniu czynnika szkodliwego S:

$$S \leq NDS, \tag{4.5}$$

zagrożenie chorobowe znajduje się w fazie BZa, a praca z punktu widzenia obecnego stanu wiedzy medycznej jest nieszkodliwa. Gdy

$$S > NDS \tag{4.6}$$

zagrożenie chorobowe przechodzi do fazy ZaU i czas ekspozycji zaczyna odgrywać zasadniczą rolę w zależności od stężenia rozpatrywanego gazu, czyli czynnika szkodliwego.

Dalszymi poziomami bezpieczeństwa w omawianym przypadku są: profilaktyka techniczna (PT) (np. wentylacja), kształtowanie osobowości (KO), kontrola pomiarowa (K) parametrów środowiska pracy i załogi oraz systemy alarmujące (SA) (np. oczujnikowanie wyrobisk).

Praca w zakresie S>NDS, bez stosowania ochron osobistych (OO), zgodnie z pkt.4.2. byłaby dopuszczalna przy ścisłym przestrzeganiu kierowanego systemu zatrudnienia (KSZ), jednak polskie przepisy górnicze BHP nie przewidują takiej możliwości.

Podstawą wprowadzenia KSZ byłoby ustanowienie statystycznego progu zachorowalności (SPZ), uwzględniającego zależność czasu dopuszczalnej ekspozycji $\tau_d$ od stężenia czynnika szkodliwego S, w postaci zależności analitycznej

$$SPZ = \tau_d \, f(S) \qquad (4.7)$$

lub tabelarycznie.

Zwiększenie stężenia tlenku węgla (CO) do

$$S > WGS \qquad (4.8)$$

inicjuje fazę ZaU zagrożenia wypadkowego.

Deficyt bezpieczeństwa w zakresie zagrożenia wypadkowego uniemożliwia normalną pracę. Możliwe jest jedynie działanie w warunkach awaryjnych dla samoratowania i prowadzenia akcji ratowniczej przy użyciu ochron osobistych (OO) lub specjalnego sprzętu ratowniczego.

Przepisy obowiązujące w górnictwie niemieckim [26,29] również zawierają jedną wartość progową, a mianowicie WGS=50 [ppm] (0,005%), do której normalna praca bez założonych ochron osobistych jest jeszcze dopuszczalna. Prace wykonywane podczas akcji ratowniczej podlegają jednak innym progowym wartościom, poza tym muszą przebiegać pod ścisłą kontrolą pomiarową stężenia CO oraz czasu ekspozycji załogi.

Wartość WGS, obowiązująca dla normalnej pracy, jest równocześnie wartością NDS podczas prowadzonej akcji ratowniczej. Podane w postaci poniższej tabelki czasy dopuszczalnej ekspozycji $\tau_d$ bez założonego sprzętu ochrony dróg oddechowych (ODO), w zależności od występującego stężenia S, stanowią statystyczny próg zachorowalności, wyznaczony dla CO, a obowiązujący w górnictwie niemieckim podczas prowadzonej akcji ratowniczej.

| Stężenie S[ppm] | Czas dopuszczalnej ekspozycji $\tau_d$ [h] |
|---|---|
| $S \leq 50$ | nieograniczony |
| $50 < S \leq 100$ | 6 |
| $100 < S \leq 200$ | 1,5 |
| $S > 200$ | 0 |

Ostatnia wartość progowa S=200[ppm] przedstawia wartość graniczną stężenia (WGS) dla prac wykonywanych podczas prowadzonej akcji ratowniczej bez założonego sprzetu ochronnego.

Nie kontrolowany wzrost stężenia S>WGS, gdy zostanie osiągnięty rzeczywisty próg zagrożenia wypadkowego ($RZ_{gs}$), określa się jako aktywizację zagrożenia wypadkowego ($AZ_s$). Istotą zdarzenia wypadkowego (ZW) może być zarówno: aktywizacja zagrożenia ze strony parametrów środowiska pracy ($AZ_s$),

przy obecności załogi w zasięgu czynnika szkodliwego, jak i aktywizacja zagrożenia od strony załogi ($AZ_{}$) przez wejście do wyrobiska czy pomieszczenia, w którym został osiągnięty rzeczywisty próg zagrożenia $RZ_{gs}$ (np w przestrzeni wyłączonej na czas prowadzonej roboty strzałowej lub nie przewietrzanej).

Od zbieżności uwarunkowań (ZU) zależą rozmiary doznanego urazu U (na ogół ostrego zatrucia).

Kontrolowane działanie w zakresie omawianego zagrożenia polega na stosowaniu sprzętu ochrony dróg oddechowych (ODO), który uniemożliwia niebezpieczne zetknięcie się załogi z obiektami środowiska pracy, na ogół w warunkach awaryjnych (podczas samoratowania lub prowadzonej akcji ratowniczej).

Nie kontrolowany wzrost stężenia S>NDS, bez stosowania ochron osobistych (OO) lub kierowanego systemu zatrudnienia (KSZ), oznacza nie kontrolowaną ekspozycję załogi na czynnik szkodliwy ($AZ_{cn}$), przy czym skutki ujawniają się na ogół w postaci przewlekłego zatrucia po czasie narażenia trwającym więcej niż jedną dniówkę.

Długotrwała ekspozycja na czynnik szkodliwy stanowi istotę zagrożenia chorobowego, gdyż w wyniku $AZ_{ch}$ może zostać osiągnięty rzeczywisty próg zagrożenia ($RZ_{ch}$), oznaczający dawkę czynnika szkodliwego wystarczającą do zapoczątkowania nieodwracalnych zmian chorobowych w organizmie (NZ), których rozmiary zależą od zbieżności uwarunkowań (ZU).

Rzeczywiste progi zagrożenia: wypadkowego $RZ_{gs}$ oraz chorobowego $RZ_{ch}$ zależą od czasu ekspozycji $\tau$ oraz od stężenia S i wynoszą przykładowo dla CO [12]:

$RZ_{gs}$ = 1% - śmierć po kilku wdechach,

0,5% - śmierć następuje po 20 do 30 minutach,

0,15 do 0,2 - po 1 h następuje ciężkie zatrucie, które zaliczamy do wypadków, gdyż skutki niebezpiecznego zetknięcia się załogi z obiektami środowiska pracy ujawniają się do 8 h. Lekkie zatrucie tlenkiem węgla oznacza nieraz ciężki wypadek przy pracy, który wymaga wielomiesięcznego leczenia szpitalnego.

Rzeczywisty próg zagrożenia chorobowego może nawet wynosić: $RZ_{ch}$ = 0,002% przy czasach nieprzerywanego przebywania >15 h, gdyż czas bezpiecznej ekspozycji przy wymienionym stężeniu wynosi 15 h.

## 5. KONIECZNE ŁAŃCUCHY ZDARZEŃ POPRZEDZAJĄCE WYPADKI I CHOROBY ZAWODOWE

Następujące zdarzenia quasi-statyczne: ruch ZG oraz działanie kierownictwa w zakresie prowadzenia ruchu ZG nie będą analizowane, gdyż stanowią skutki następstwa zdarzeń, którego warunki konieczne znajdują się częściowo poza ZG, poza sferą rozpatrywanych zdarzeń.

Zgodnie z prakseologicznym modelem działania prowadzenie ruchu ZG aq przez jego kierownictwo, na podstawie podejmowanych decyzji, stanowi zinstrumentalizowane działanie praktyczne, w którym przedmiotem działania jest wydobycie określonej kopaliny, podmiotem działania załoga ZG, pośrednikami działania ruch zakładu górniczego bq i roboty górnicze dq, a którego celem nadrzędnym jest bezzagrożeniowa realizacja wydobycia przy optymalnym wykorzystaniu technicznego zasobu [50,51].

Wychodząc od wypadku przy pracy i choroby zawodowej, które stanowią niepożądane skutki ostateczne prowadzonej działalności górniczej,*) zostanie przeprowadzona analiza retrospektywna zdarzeń poprzedzających rozpatrywaną szkodliwość w celu wyznaczenia koniecznych łańcuchów zdarzeń $L_k$ (rozdz.3), warunkujących to następstwo zdarzeń [28,40,139].

Nie będzie analizowane uznanie doznanego urazu (U) za wypadek przy pracy (W), czy uznanie nieodwracalnych zmian chorobowych (NZ) za chorobę zawodową (Ch) oraz nie będzie rozpatrywana zbieżność uwarunkowań (ZU), gdyż stanowią

---

*) Przeprowadzona analiza retrospektywna rozpoczyna się od wypadku (W) lub/i choroby zawodowej (Ch), które często kojarzą się z urazem (U) i nieodwracalnymi zmianami chorobowymi. Ściśle biorąc przeprowadzona analiza retrospektywna powinna się zaczynać od urazu lub/i nieodwracalnych zmian chorobowych (definicje: wypadku i choroby zawodowej rozdział 4). Ponadto nie będą oddzielnie rozpatrywane szkody materialne (Sz), gdyż stanowią skutek pośredni związany z aktywizacją zagrożenia (AZ).

skutki następstwa zdarzeń, którego warunki konieczne częściowo znajdują się poza ZG, poza sferą rozpatrywanych zdarzeń (podobnie jak aq i bq).

Konieczne łańcuchy zdarzeń przedstawiają uporządkowanie kolejnych skutków pośrednich i koniecznych przyczyn (ewentualnie i warunków głównych), pośród których znajdują się również skutki niepożądane (rozdział 4), a pozostających w związkach przyczynowo-skutkowych. Uporządkowanie zdarzeń nastąpi ze względu na działanie załogi (wyróżniając działanie dozoru i kierownictwa ZG) oraz na zmiany parametrów środowiska pracy (kładąc nacisk przede wszystkim na miejsce zdarzenia, pośród innych zdarzeń), czasem pomijając dokładne usytuowanie zdarzeń na osi czasu [73,74,95].

Pojawienie się rozpatrywanej szkodliwości jest uwarunkowane uprzednim zajściem wielu skutków pośrednich, do których zaliczamy między innymi: prowadzenie robót górniczych przez dozór i załogę, roboty górnicze, czynności robocze załogi, zmiany parametrów środowiska pracy itd. Zostanie zbadane, w jakim momencie powstał poszczególny skutek pośredni, jaka jest jego relacja do innych skutków, z jakiej przyczyny i w jakich głównych warunkach, istotnych ze względu na konieczne następstwo zdarzeń powstał, co było przedtem, a co potem.

W analizie nie odróżnia się procesów ciągłych od dyskretnych, tylko rozpatruje się stany warunkujące konieczne następstwo zdarzeń. Procesy, w których zdarzenia są rozpatrywane ze względu na ich uporządkowanie, stanowią najogólniejszą formę procesów. Takim procesom jest łatwo przyporządkować obraz geometryczny zwany grafem [73], dla którego można przyjąć następującą definicję:

> Graf jest to topologiczne odwzorowanie występującego następstwa zdarzeń, określające jednoznacznie relacje zachodzące pomiędzy zdarzeniami, w którym węzły reprezentują warunki konieczne następstwa zdarzeń, a gałęzie zorientowane w kierunku implikacji przedstawiają kolejne skutki pośrednie, które zamieniają się w przyczyny (lub i warunki główne) następstwa zdarzeń.

Obrazem zachodzących zdarzeń jest graf łańcuchowy, czyli bez pętli [118, 158]. Graf taki przedstawia dorzecze. Nurty, czyli gałęzie mogą się rozdzielać i łączyć, lecz nie tworzą obiegu zamkniętego; nie ma więc dróg od zdarzeń późniejszych do wcześniejszych. Może jedynie nastąpić przerwanie łańcucha zdarzeń wskutek stosowanej celowej techniki bezpieczeństwa pracy. Przykładowo zatrzymanie robót w przodku chodnikowym może nastąpić w wyniku

zadziałania metanometrii automatycznej wyłączającej lub wskutek działania kierownika ruchu ZG w wyniku kontroli Urzędu Górniczego.

W grafie występują cztery węzły zewnętrzne ($\Omega_1, \Omega_2, \Omega_3, \Omega_4$), tzn. takie, do których nie wchodzi żadna gałąź (analizowana szkodliwość stanowi jedno źródło), ani z których żadna nie wychodzi (zbieżność uwarunkowań ZU, ruch ZG bq, prowadzenie ruchu przez kierownictwo aq stanowią trzy studnie). Poza tym w grafie występują węzły wewnętrzne, które mogą być zbiorcze lub rozdzielcze.

Przejście jednej lub wielu gałezi kolejno zgodnie z oznaczonym kierunkiem tworzy ścieżkę [118]. Rozpatruje się tylko ścieżki otwarte, co oznacza, że przez ten sam węzeł przechodzi ona tylko raz. Węzły grafu występują w kolejności wynikającej z następstwa zdarzeń. Rozpatrywane będą ścieżki proste i odwrócone (rozdział 8).

Można przeprowadzać redukcję grafu, zmierzającą do jego uproszczenia, polegającą na eliminacji pewnych węzłów grafu początkowego w celu uzyskania grafu zastępczego, znacznie prostszego.

Struktura grafu narzuca sposób redukcji, która może polegać na przyjęciu makrozdarzeń $\mathbb{O}_k$, reprezentujących określone stany występujące lub procesy przebiegające w środowisku pracy, a stanowiące większe ogniwa rozpatrywanego łańcucha zdarzeń, przy czym pomiędzy wymienionymi ogniwami również zachodzi zależność implikacji przyczynowej.

Dla uproszczenia prowadzonych rozważań nie rozróżnia się poszczególnych stopni w hierarchii ZG ograniczając się, zgodnie z prawem górniczym, do trzech grup członków załogi [110]:

- kierownictwo ZG (dyrektor naczelny, dyrektor techniczny, kierownik robót górniczych).
- dozór ZG (wyższy, średni, niższy),
- załoga ZG.

Zostanie przeprowadzona analiza retrospektywna następstwa zdarzeń w celu określenia koniecznych łańcuchów zdarzeń $\mathbb{L}_{kw}$ i $\mathbb{L}_{kch}$ (wzór 3.39) pojawiających się w ZG, gdy mają miejsce wypadki W i choroby zawodowe Ch, stanowiące niepożądane skutki ostateczne prowadzonej działalności górniczej.

## 5.1. ANALIZA RETROSPEKTYWNA NASTĘPSTWA ZDARZEŃ POPRZEDZAJĄCEGO WYPADEK

Jeśli miał miejsce wypadek przy pracy W, to przedtem musiał nastąpić uraz U u członka załogi ZG, a jeszcze przedtem musiał się pojawić zbiór zdarzeń $\mathbb{Z}_k$, który stanowi warunek konieczny następstwa zdarzeń.

$$W \Rightarrow U \Rightarrow \mathbb{Z}_k \equiv \{(ZW \equiv zk) \wedge (ZU \equiv zs)\}, \tag{5.1}$$

gdzie ZW - zdarzenie wypadkowe (zk - zdarzenie kinetyczne),

ZU - zbieżność uwarunkowań (zs - zdarzenie statyczne).

ZU nie będzie dalej analizowana, gdyż uwzględnia czynnik losowy w prowadzonej analizie zagrożenia. Zgodnie z prawem symplifikacji dla koniunkcji (wzór 3.21) zbiór zdarzeń $\mathbb{Z}_k$ implikuje ZW. Jeśli miało miejsce zdarzenie wypadkowe ZW, to przedtem musiał się pojawić zbiór zdarzeń $\mathbb{Y}_k$.

$$ZW \Rightarrow \mathbb{Y}_k \equiv \{[(AZ \equiv yk) \wedge ys]_V[(AZ_c \equiv yk_1) \wedge (RZ_c \vee RZ_{gs} \equiv ys_{1:2})]\}, \tag{5.2}$$

gdzie AZ - niebezpieczne zmiany parametrów środowiska pracy (dla załogi w razie zetknięcia) - CAZ parametry środowiska pracy,

$AZ_c$ - CAZ - człowiek,

ys - przebywanie załogi w zasięgu AZ,

$RZ_c$ - rzeczywisty próg zagrożenia, dla załogi, ze strony obiektów środowiska pracy, w warunkach normalnych,

$RZ_{gs}$ - parametry strumienia wentylacyjnego w zakresie niebezpiecznym dla życia lub zdrowia załogi.

Jeśli nastąpiła aktywizacja zagrożenia AZ ze strony parametrów środowiska pracy, to przedtem musiał się pojawić zbór zdarzeń $\mathbb{X}_k$.

$$AZ \Rightarrow \mathbb{X}_k \equiv \{(AZ_p \equiv xk_1) \vee (AZ_w \equiv xk_2) \vee (AZ_l \equiv xk_3) \vee (AZ_t \equiv xk_4) \vee (AZ_s \equiv xk_5)\}, \tag{5.3}$$

gdzie $AZ_p$ - wybuch gazu lub obłoku pierwotnego pyłu węglowego,

$AZ_w$ - wybuch obłoków wtórnych pyłu węglowego,

$AZ_l$ - awaria górnicza,

$AZ_t$ - awaria techniczna,

$AZ_s$ - aktywizacja zagrożenia przez inne czynniki.

Jeśli nastąpił wybuch obłoków wtórnych $AZ_w$, to przedtem musiał się pojawić zbiór zdarzeń $\mathbb{T}_k$.

$$AZ_w \Rightarrow \mathbb{T}_k \equiv \{tk \wedge (RZ_w \equiv ts)\}, \tag{5.4}$$

gdzie tk - płomień obłoku pierwotnego (na ogół wystarczający do zapalenia obłoków wtórnych),

$RZ_w$ - obłoki wtórne.

Jeśli w środowisku pracy występują obłoki wtórne, to przedtem musiał się pojawić zbiór zdarzeń $\mathbb{N}_k$.

$$RZ_w \Rightarrow \mathbb{N}_k \equiv \{nk \wedge ns\}, \tag{5.5}$$

gdzie nk - podmuch (wywołany wybuchem obłoku pierwotnego),

ns - zapylenie wyrobisk wybuchowym pyłem węglowym w miejscach możliwego przeniesienia zainicjowanego już wybuchu pyłu węglowego.

Jeśli w środowisku pracy nastąpił podmuch nk, zdolny unieść obłoki wtórne oraz płomień tk, który może je zapalić, to przedtem musiał zostać zainicjowany wybuch obłoku pierwotnego lub gazu $AZ_p$, a jeszcze wcześniej musiał się pojawić zbiór zdarzeń $\mathbb{L}_k$.

$$nk \wedge tk \Rightarrow AZ_p \Rightarrow \mathbb{L}_k \equiv \{lk \wedge (RZ_p \vee RZ_{gw} \equiv ls_{1:2})\}, \tag{5.6}$$

gdzie lk - płomień (o określonej energii, koniecznej do zapalenia gazu wybuchowego lub obłoku pierwotnego),

$RZ_{gw}$ -udział w atmosferze kopalnianej gazu wybuchowego w zakresie jego wybuchowości,

$RZ_p$ -obłok pierwotny.

Jeśli w środowisku pracy utworzył się obłok pierwotny pyłu węglowego $RZ_p$, tzn. taki, który może zainicjować wybuch pyłu węglowego, w razie równoczesnego oddziaływania płomienia o koniecznej energii, to przedtem musiał się pojawić zbiór zdarzeń $\mathbb{K}_k$.

$$RZ_p \Rightarrow \mathbb{K}_k \equiv \{kk \wedge ks\}, \tag{5.7}$$

gdzie kk - podmuch,

ks - zapylenie wyrobisk pyłem wybuchowym w miejscach możliwej inicjacji wybuchu pyłowego.

Jeśli w środowisku pracy pojawił się płomień lk o energii koniecznej, by zainicjować wybuch metanu, innych gazów wybuchowych albo obłoku pierwotnego pyłu węglowego lub/i podmuch kk, mogący unieść obłok pierwotny pyłu węglowego, to przedtem musiał się pojawić zbiór zdarzeń $J_k$.

$$kk \vee lk \Rightarrow J_k \equiv \{jq_{1:i} \vee jq_{i+1}\} \qquad (i=2,3...n; n \in N), \qquad (5.8)$$

gdzie

$jq_{1:i}$ - procesy zachodzące w środowisku pracy, które zarówno w warunkach normalnych, jak i awaryjnych mogą stanowić składniki istotne warunku koniecznego pojawienia się płomienia lub/i podmuchu,

$jq_{i+1}$ - sprawstwo progresywne (przykładowo przez palenie tytoniu).

Jeśli w środowisku pracy nastąpiła aktywizacja zagrożenia $AZ_l \vee AZ_t$, to przedtem musiał zostać osiągnięty rzeczywisty próg zagrożenia $RZ_l \vee RZ_t$; jeśli zaś w środowisku pracy został osiągnięty rzeczywisty próg zagrożenia $RZ_l \vee RZ_t \vee RZ_{gw} \vee RZ_{gs}$ lub nastąpiła aktywizacja zagrożenia $AZ_s$, to przedtem musiał pojawić się zbiór zdarzeń $I_k$.

$$(AZ_l \Rightarrow RZ_l) \vee (AZ_t \Rightarrow RZ_t) \vee RZ_{gw} \vee RZ_{gs} \vee AZ_s \Rightarrow I_k \equiv \{ik \vee iq\}, \qquad (5.9)$$

gdzie ik - nie kontrolowana czynność (przykładowo niedozwolone uruchomienie lub załączenie maszyny, lub urzadzenia),

iq - nie kontrolowane procesy zachodzące w środowisku pracy.

Jeśli nastąpiła aktywizacja zagrożenia przez czynnik ludzki $AZ_c$ lub/i nie kontrolowana czynność ik lub/i przy współudziale załogi trwają procesy inicjujące płomień przykładowo $jq_{i+1}$ lub/i załoga przebywa w zasięgu skutków aktywizacji zagrożenia ys, to przedtem musiał się pojawić zbiór zdarzeń $H_k$.

$$AZ_c \vee ik \vee jq_{i+1} \vee ys \Rightarrow H_k \equiv \{hq\}, \qquad (5.10)$$

gdzie hq - czynności wykonywane przez załogę (najczęściej w związku z pracą).

Jeśli w środowisku pracy występują nie kontrolowane parametry środowiska pracy ks lub ns lub/i zachodzą nie kontrolowane procesy iq, to przedtem musiał się pojawić zbiór zdarzeń $G_k$.

$$ks_V ns_V iq \Rightarrow \mathbb{C}_k \equiv \{gk_V gq\}, \qquad (5.11)$$

gdzie gk - parametry środowiska pracy przy określonym wpływie załogi,
gq - procesy zachodzące w środowisku pracy przy określonym wpływie załogi.

Jeśli załoga wykonuje czynności hq, najczęściej związane z pracą lub/i wywiera określony wpływ na parametry środowiska pracy (gk) lub na przebiegające procesy (gq), w zakresie przeprowadzanej kontroli pomiarowej lub wzrokowej parametrów środowiska pracy lub zachodzących procesów, to przedtem musiał się pojawić zbiór zdarzeń $\mathbb{F}_k$.

$$hq_V(gs)_V(gq) \Rightarrow \mathbb{F}_k \equiv \{fq\}, \qquad (5.12)$$

gdzie fq - działanie załogi w zakresie prowadzenia robót górniczych na podstawie podejmowanych decyzji.

Jeśli w środowisku pracy występują parametry gk lub przebiegają procesy gq, to przedtem musiał się pojawić zbiór zdarzeń $\mathbb{E}_k$.

$$gk_V gq \Rightarrow \mathbb{E}_k \equiv \{ek_V eq\}, \qquad (5.13)$$

gdzie ek - parametry środowiska pracy na ogół odmienne od gk,
eq - procesy zachodzące w środowisku pracy na ogół inne niż gq.

Jeśli w środowisku pracy trwają procesy $jq_{1:1}$, które mogą stanowić przyczynę pojawienia się płomienia lub/i podmuchu, który jest w stanie unieść obłok pierwotny pyłu węglowego, lub/i występują określone parametry środowiska pracy ek, lub/i przebiegają procesy eq, mające wpływ na następstwo zdarzeń, to przedtem musiał się pojawić zbiór zdarzeń $\mathbb{D}_k$.

$$jq_{1:1} V ek_V eq \Rightarrow \mathbb{D}_k \equiv \{dq\}, \qquad (5.14)$$

gdzie dq - roboty górnicze przebiegające w określonych uwarunkowaniach naturalnych, technicznych i przy wpływie dozoru na roboty.

Jeśli są prowadzone roboty górnicze przez załogę fq lub/i wywierany jest określony wpływ dozoru na roboty górnicze (dq), w zakresie organizacji i utrzymania niektórych nakazanych poziomów bezpieczeństwa, to przedtem musiał się pojawić zbiór zdarzeń $\mathbb{C}_k$.

$$fq_V(dq) \Rightarrow \mathbb{C}_k \equiv \{cq\}, \tag{5.15}$$

gdzie cq - działanie dozoru w zakresie prowadzenia robót górniczych na podstawie podejmowanych decyzji.

Jeśli odbywają się roboty górnicze dq lub/i występuje rzeczywisty próg zagrożenia $RZ_c$, to przedtem musiał się pojawić zbiór zdarzeń $\mathbb{B}_k$.

$$dq_V RZ_c \Rightarrow \mathbb{B}_k \equiv \{bq\}, \tag{5.16}$$

gdzie bq - ruch ZG odbywający się w określonych uwarunkowaniach naturalnych, technicznych, międzyludzkich i przy wpływie kierownictwa (bq). Poza tym, zgodnie z założeniem, ruch ZG bq nie będzie dalej analizowany.

Jeśli są prowadzone roboty górnicze cq przez dozór lub/i wywierany jest określony wpływ kierownictwa na ruch ZG (bq), w zakresie organizacji i utrzymywania niektórych nakazanych poziomów bezpieczeństwa (co będzie przedmiotem analizy prowadzonej w rozdz.7 i 8), to przedtem musiał się pojawić zbiór zdarzeń $\mathbb{A}_k$.

$$cq_V(bq) \Rightarrow \mathbb{A}_k \equiv \{aq\}, \tag{5.17}$$

gdzie aq - działanie kierownictwa w zakresie prowadzenia ruchu ZG na podstawie podejmowanych decyzji (zgodnie z założeniem nie będzie dalej analizowane).

17 wyselekcjonowanych zbiorów zdarzeń stanowiących warunki konieczne utworzenia łańcucha zdarzeń $\mathbb{L}_{kw}$, który poprzedza wypadek, wyczerpuje wszystkie zasadnicze możliwości w tym zakresie, co wynika z dotychczasowego doświadczenia [162]. Są to następujące zbiory zdarzeń:

$$W \Rightarrow U \Rightarrow \mathbb{Z}_k = \{(ZW \equiv zk) \wedge (ZU \equiv zs)\}$$

$$ZW \Rightarrow \mathbb{Y}_k \equiv \{[(AZ \equiv yk) \wedge ys]_V[(AZ_c \equiv yk_1) \wedge (RZ_c V RZ_{gs} \equiv ys_{1:2})]\}$$

$$AZ \Rightarrow \mathbb{X}_k \equiv \{(AZ_p \equiv xk_1)_V(AZ_w \equiv xk_2)_V(AZ_i \equiv xk_3)_V(AZ_i \equiv xk_4)_V(AZ_s \equiv xk_5)\}$$

$$AZ_w \Rightarrow \mathbb{T}_k \equiv \{tk \wedge (RZ_w \equiv ts)\}$$

$$RZ_w \Rightarrow \mathbb{N}_k \equiv \{nk \wedge ns\}$$

$nk \wedge lk \Rightarrow AZ_p \Rightarrow \mathbb{L}_k \equiv \{lk \wedge (RZ_p \vee RZ_{gw} \equiv ls_{1:2})\}$

$RZ_p \Rightarrow \mathbb{K}_k \equiv \{kk \wedge ks\}$

$kk \vee lk \Rightarrow \mathbb{J}_k \equiv \{jq_{1:i} \vee jq_{i+1}\}$

$(AZ_l \Rightarrow RZ_l) \vee (AZ_t \Rightarrow RZ_t) \vee RZ_{gw} \vee RZ_{gs} \vee AZ_s) \Rightarrow \mathbb{I}_k \equiv \{iq \vee ik\}$

$AZ_c \vee ik \vee jq_{i+1} \vee ys \Rightarrow \mathbb{H}_k \equiv \{hq\}$

$iq \vee ks \vee ns \Rightarrow \mathbb{G}_k \equiv \{gk \vee gq\}$

$hq \vee (gk) \vee (gq) \Rightarrow \mathbb{F}_k \equiv \{fq\}$

$gk \vee gq \Rightarrow \mathbb{E}_k \equiv \{ek \vee eq\}$

$jq_{1:i} \vee ek \vee eq \Rightarrow \mathbb{D}_k \equiv \{dq\}$

$fq \vee (dq) \Rightarrow \mathbb{C}_k \equiv \{cq\}$

$RZ_c \vee dq \Rightarrow \mathbb{B}_k \equiv \{bq\}$

$cq \vee (bq) \Rightarrow \mathbb{A}_k = \{aq\}$

Zgodnie z prawem symplifikacji dla koniunkcji (wzór 3.21) skutki pośrednie zamieniają się w przyczyny (czasem i warunki główne) kolejnego lub przyszłego następstwa zdarzeń tworząc konieczny łańcuch zdarzeń, poprzedzający wypadek przy pracy.

W celu uzyskania większej przejrzystości zbiory zdarzeń $(\mathbb{Z}_k \ldots \mathbb{A}_k)$, wyselekcjonowane uprzednio, a stanowiące warunki konieczne występującego następstwa zdarzeń, pogrupowano w makrozdarzenia $\mathbb{O}_{k6} \ldots \mathbb{O}_{k1}$, stanowiące większe ogniwa rozpatrywanego łańcucha zdarzeń $\mathbb{L}_{kw}$. Zastosowano trzy rodzaje nawiasów, które oznaczają:

$\{\{\{()\}\}\}$ - zbiory zdarzeń warunkujące konieczne następstwo zdarzeń,

$[[[()]]]$ - niektóre składniki istotne warunku koniecznego następstwa zdarzeń,

$(((\,)))$ - objaśnienie dotyczące wcześniejszego następstwa zdarzeń

W przypadku wielokrotnego wykorzystania tej samej wielkości nawiasu w celu odróżnienia zastosowano numerację nawiasów.

Zgodnie z prawem przechodniości implikacji, którą wyraża prawo sylogizmu hipotetycznego (wzór 3.16) pomiędzy poszczególnymi ogniwami, które też są zdarzeniami, zachodzi zależność implikacji przyczynowej.

$$W \Rightarrow U \Rightarrow \Lambda_{kw} \equiv \Big\{ \mathbb{O}_{k6} \Rightarrow ZW \Rightarrow \mathbb{O}_{k5} \Rightarrow [lk \wedge (kk \vee RZ_{gw})] \vee RZ_t \vee RZ_l \vee RZ_{gs} \vee AZ_s \Rightarrow$$

$$\Rightarrow \mathbb{O}_{k4} \Rightarrow [iq \vee ks \vee ns] \wedge hq \Rightarrow \mathbb{O}_{k3} \Rightarrow [jq_{1;1} \vee ek \vee eq] \wedge fq \Rightarrow$$

$$\Rightarrow \mathbb{O}_{k2} \Rightarrow [RZ_c \vee dq] \wedge cq \Rightarrow \mathbb{O}_{k1} \Big\} \Rightarrow aq \wedge bq. \qquad (5.18)$$

Po rozpisaniu wzór (5.18) przyjmuje następującą postać:

$$W \Rightarrow U \Rightarrow \Lambda_{kw} \equiv \Big\{ \mathbb{O}_{k6} \equiv \Big\{ Z_k \equiv \{ZW \wedge ZU\} \Big\} \Rightarrow ZW \Rightarrow$$

$$\Rightarrow \mathbb{O}_{k5} \equiv \Big\{ \underset{1}{Y_k} \equiv \Big\{ \Big[ AZ \Big[ \Rightarrow \underset{2}{X_k} \equiv \Big\{ \Big[ AZ_w \Big[ \Rightarrow \underset{3}{T_k} \equiv \Big\{ tk \wedge RZ_w \Big( \Rightarrow \underset{3}{N_k} \equiv \{nk \wedge ns\} \Big) \Big\} \Big] \Big] \vee$$

$$\vee\ AZ_p \Big[ \Rightarrow \underset{4}{\mathbb{L}_k} \equiv \Big\{ lk \wedge \Big[ RZ_p \Big( \Rightarrow \underset{4}{\mathbb{K}_k} \equiv \{kk \wedge ks\} \Big) \vee RZ_{gw} \Big] \Big\} \Big] \vee AZ_s \vee AZ_l \vee \underset{2}{AZ_t} \Big\} \Big] \wedge$$

$$\wedge \Big[ ys \Big( \Rightarrow H \equiv (hq) \Big) \Big] \Big] \vee \Big[ AZ_c \Big( \Rightarrow \underset{1}{H_k} \equiv \{hq\} \Big) \wedge \Big[ RZ_c \vee RZ_{gs} \Big] \Big] \Big\} \Big\} \Rightarrow$$

$$\Rightarrow [1k \wedge (kk \vee RZ_{gw})] \vee RZ_{t} \vee RZ_{l} \vee RZ_{gs} \vee AZ_{s} \Rightarrow$$

$$\Rightarrow \mathbb{O}_{k4} \equiv \left\{ \left[ J_k \equiv \left\{ jq_{1:i} \vee jq_{i+1} \left( \Rightarrow H_k \equiv \{hq\} \right) \right\} \right] \vee \left[ \mathbb{I}_k \equiv \left\{ ik \left( \Rightarrow H_k \equiv \{hq\} \right) \vee iq \right\} \right] \right\} \Rightarrow$$

$$\Rightarrow [iq \vee ks \vee ns] \wedge hq \Rightarrow$$

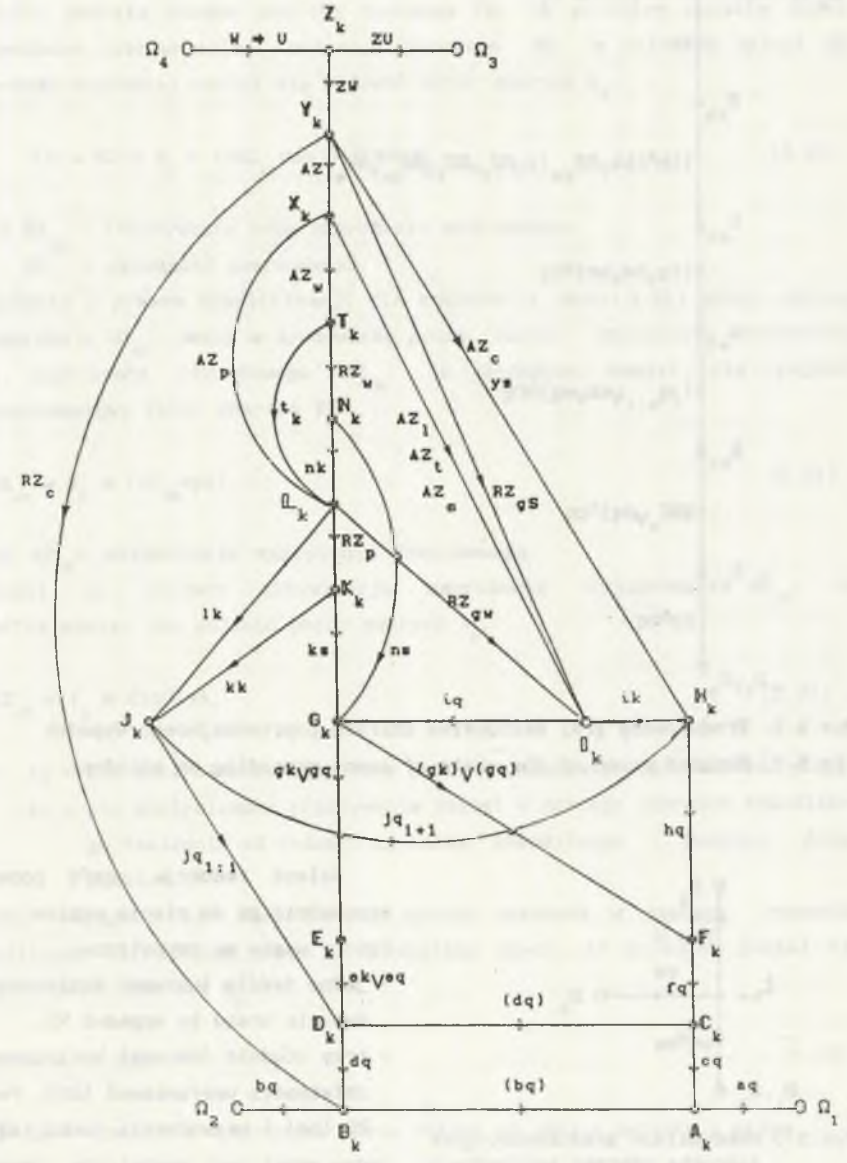
$$\Rightarrow \mathbb{O}_{k3} \equiv \left\{ \left[ \mathbb{G}_k \equiv \left\{ \left[ gk \vee gq \right] \left( \Rightarrow \mathbb{E}_k \equiv \{ek \vee eq\} \right) \right] \wedge \left[ \mathbb{F}_k \equiv \{fq\} \right] \right\} \Rightarrow [jq_{1:i} \vee ek \vee eq] \wedge fq \Rightarrow \right.$$

$$\Rightarrow \mathbb{O}_{k2} \equiv \left\{ \left[ \mathbb{D}_k \equiv \{dq\} \right] \wedge \left[ \mathbb{C}_k \equiv \{cq\} \right] \right\} \Rightarrow [RZ_c \vee dq] \wedge cq \Rightarrow$$

$$\Rightarrow \mathbb{O}_{k1} \equiv \left\{ \left[ \mathbb{B}_k \equiv \{bq\} \right] \wedge \left[ \mathbb{A}_k \equiv \{aq\} \right] \right\} \Rightarrow aq \wedge bq. \qquad (5.19)$$

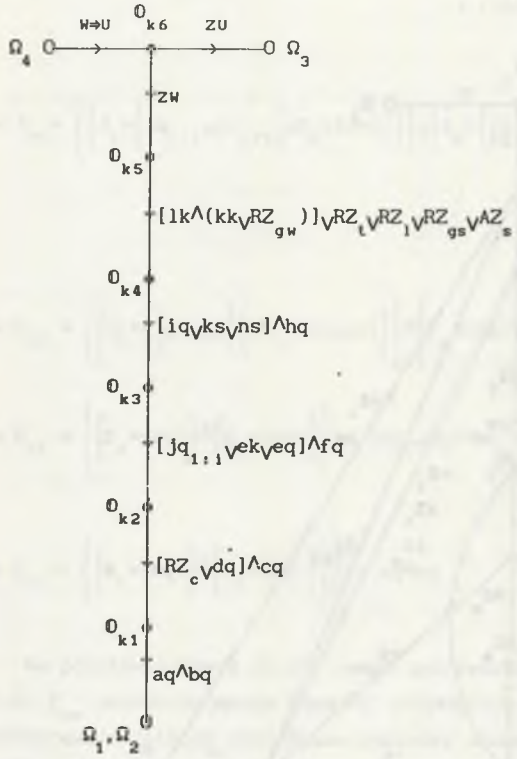
Na podstawie wzoru (5.19) można sporządzić graf koniecznego łańcucha zdarzeń $\mathbb{L}_{kw}$ poprzedzającego wypadek przy pracy (rys.5.1), który jednoznacznie odwzorowuje relacje zachodzące pomiędzy zdarzeniami, zanim dochodzi do wypadku przy pracy.

Redukcja grafu pokazanego na rys.5.1 pozwala na uzyskanie grafu jednościeżkowego (rys.5.2), który obrazuje konieczne następstwo zdarzeń poprzedzające wypadek, następujące przy różnych stanach i procesach w środowisku pracy zarówno po stronie parametrów, jak i czynnika ludzkiego.



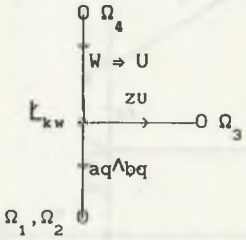

Rys. 5.1. Graf koniecznego łańcucha zdarzeń poprzedzającego wypadek

Fig. 5.1. Graph of the necessary chain of events preceding an accident




Rys. 5.2. Zredukowany graf następstwa zdarzeń poprzedzającego wypadek

Fig. 5.2. Reduced graph of the chain of event preceding an accident




Rys. 5.3. Maksymalnie zredukowany graf łańcucha zdarzeń poprzedzającego wypadek

Fig. 5.3. Maximum reduced graph of the chain of events preceding an accident

Dalsza redukcja grafu pozwala sprowadzić go do pięciu węzłów. Cztery węzły są zewnętrzne:

- jedno źródło (warunek konieczny uznania urazu za wypadek W),
- trzy studnie (warunki konieczne: zbieżności uwarunkowań (ZU), ruchu ZG (bq) i prowadzenia ruchu (aq).

Jeden węzeł jest wewnętrzny (analizowany konieczny łańcuch zdarzeń $Ł_{kw}$).

## 5.2. ANALIZA RETEROSPEKTYWNA NASTĘPSTWA ZDARZEŃ POPRZEDZAJĄCEGO CHOROBĘ ZAWODOWĄ

Jeśli została uznana choroba zawodowa Ch, to przedtem musiały zostać stwierdzone nieodwracalne zmiany chorobowe NZ u członków załogi ZG, a jeszcze wcześniej musiał się pojawić zbiór zdarzeń $\mathbb{Z}_k$.

$$Ch \Rightarrow NZ \Rightarrow \mathbb{Z}_k = \{(RZ_{ch} \equiv zq) \wedge (ZU \equiv zs)\}, \tag{5.20}$$

gdzie $RZ_{ch}$ - rzeczywisty próg zagrożenia chorobowego,
ZU - zbieżność uwarunkowań.

Zgodnie z prawem symplifikacji dla koniunkcji (wzór 3.21) zbiór zdarzeń $\mathbb{Z}_k$ implikuje $RZ_{ch}$. Jeśli w środowisku pracy został osiągnięty rzeczywisty próg zagrożenia chorobowego $RZ_{ch}$, to przedtem musiał się pojawić jednoelementowy zbiór zdarzeń $\mathbb{Y}_k$.

$$RZ_{ch} \Rightarrow \mathbb{Y}_k \equiv \{AZ_{ch} \equiv yq\}, \tag{5.21}$$

gdzie $AZ_{ch}$ - aktywizacja zagrożenia chorobowego.

Jeśli ma miejsce aktywizacja zagrożenia chorobowego $AZ_{ch}$, to przedtem musiał się pojawić zbiór zdarzeń $\mathbb{I}_k$.

$$AZ_{ch} \Rightarrow \mathbb{I}_k \equiv \{iq \wedge is\}, \tag{5.22}$$

gdie iq - nie kontrolowany szkodliwy proces zachodzący w środowisku pracy,
is - nie kontrolowane przebywanie załogi w zasięgu czynnika szkodliwego (zależnie od rodzaju czynnika szkodliwego - godziny, doby, lata).

Jeśli załoga w nie kontrolowany sposób przebywa w zasięgu czynnika szkodliwego is, występującego w środowisku pracy, to przedtem musiał się pojawić zbiór zdarzeń $\mathbb{H}_k$.

$$is \Rightarrow \mathbb{H}_k \equiv \{hq\} \tag{5.23}$$

gdzie hq - czynności wykonywane przez załogę na ogół w związku z pracą.

Jeśli przebiegają nie kontrolowane procesy iq, to przedtem musiał się w środowisku pracy pojawić zbiór zdarzeń $\mathbb{G}_k$.

$$iq \equiv \mathbb{G}_k \equiv \{gk_{\vee}gq\}. \tag{5.24}$$

Wzór (5.24) stanowi uproszczoną postać wzoru (5.11).

Kolejne warunki konieczne następstwa zdarzeń są analogiczne do wzorów (5.12), (5.13), (5.14), (5.15), (5.16) i (5.17).

11 wyselekcjonowanych zbiorów zdarzeń stanowiących warunki konieczne utworzenia łańcucha zdarzeń $\mathbb{L}_{kch}$, który w wyniku następstwa zdarzeń w ZG poprzedza chorobę zawodową, wyczerpuje wszystkie zasadnicze możliwości w tym zakresie (jak wynika z dotychczasowego doświadczenia) [162]. Są to następujące zbiory zdarzeń:

$Ch \Rightarrow NZ \Rightarrow \mathbb{Z}_k \equiv \{(RZ_{ch} \equiv zq) \wedge (ZU \equiv zs)\}$

$RZ_{ch} \Rightarrow \mathbb{Y}_k \equiv \{AZ_{ch} \equiv yq\}$

$AZ_{ch} \Rightarrow \mathbb{I}_k \equiv \{iq \wedge is\}$

$is \Rightarrow \mathbb{H}_k \equiv \{hq\}$

$iq \Rightarrow \mathbb{G}_k \equiv \{gk_{\vee}gq\}$

$hq_{\vee}(gk)_{\vee}(gq) \Rightarrow \mathbb{F}_k \equiv \{fq\}$

$gk_{\vee}gq \Rightarrow \mathbb{E}_k \equiv \{ek_{\vee}eq\}$

$ek_{\vee}eq \Rightarrow \mathbb{D}_k \equiv \{dq\}$

$fq_{\vee}(dq) \Rightarrow \mathbb{C}_k \equiv \{cq\}$

$dq \Rightarrow \mathbb{B}_k \equiv \{bq\}$

$cq_{\vee}(bq) \Rightarrow \mathbb{A}_k = \{aq\}$

Podobnie jak uprzednio zbiory zdarzeń, występujące w łańcuchu zdarzeń, pogrupowano w 6 makrozdarzeń, przedstawiających różne stany i procesy zachodzące w środowisku pracy, warunkujące konieczne następstwo zdarzeń poprzedzające chorobę zawodową.

Skutki pośrednie zamieniają się w przyczyny (czasem i warunki główne) kolejnego następstwa zdarzeń tworząc, podobnie jak we wzorze (5.18), łańcuch zdarzeń poprzedzający chorobę zawodową.

$$Ch \Rightarrow NZ \Rightarrow \mathcal{L}_{kch} \equiv \Big\{ \mathbb{O}_{k6} \Rightarrow RZ_{ch} \Rightarrow \mathbb{O}_{k5} \Rightarrow AZ_{ch} \Rightarrow \mathbb{O}_{k4} \Rightarrow$$

$$\Rightarrow iq \wedge hq \Rightarrow \mathbb{O}_{k3} \Rightarrow (ek_{\vee} eq) \wedge fq \Rightarrow$$

$$\Rightarrow \mathbb{O}_{k2} \Rightarrow dq \wedge cq \Rightarrow \mathbb{O}_{k1} \Big\} \Rightarrow aq \wedge bq. \qquad (5.25)$$

Po rozpisaniu wzór (5.25) przyjmuje następującą postać:

$$Ch \Rightarrow NZ \Rightarrow \mathcal{L}_{kch} \equiv \Big\{ \mathbb{O}_{k6} \equiv \Big\{ Z_k \equiv \{RZ_{ch} \wedge ZU\} \Big\} \Rightarrow RZ_{ch} \Rightarrow \mathbb{O}_{k5} \equiv \Big\{ Y_k \equiv \{AZ_{ch}\} \Big\} \Rightarrow AZ_{ch} \Rightarrow$$

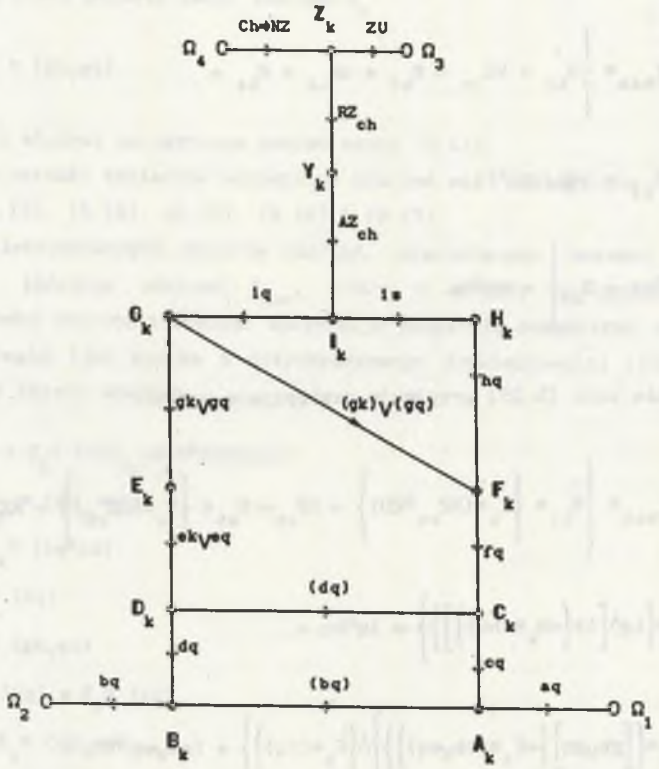
$$\Rightarrow \mathbb{O}_{k4} \equiv \Big\{ \mathbb{I}_k \equiv \Big\{ iq \wedge \Big[ is \Big( \Rightarrow H_k \equiv \{hq\} \Big) \Big] \Big\} \Big\} \Rightarrow iq \wedge hq \Rightarrow$$

$$\Rightarrow \mathbb{O}_{k3} \equiv \Big\{ \Big[ \mathbb{G}_k \equiv \Big\{ \Big[ gk_{\vee} gq \Big] \Big( \Rightarrow E_k \equiv \{ek_{\vee} eq\} \Big) \Big\} \Big] \wedge \Big[ F_k \equiv \{fq\} \Big] \Big\} \Rightarrow (ek_{\vee} eq) \wedge fq \Rightarrow$$

$$\Rightarrow \mathbb{O}_{k2} \equiv \Big\{ \Big[ \mathbb{D}_k \equiv \{dq\} \Big] \wedge \Big[ C_k \equiv \{cq\} \Big] \Big\} \Rightarrow dq \wedge cq \Rightarrow$$

$$\Rightarrow \mathbb{O}_{k1} \equiv \Big\{ \Big[ \mathbb{B}_k \equiv \{bq\} \Big] \wedge \Big[ A_k \equiv \{aq\} \Big] \Big\} \Big\} \Rightarrow aq \wedge bq. \qquad (5.26)$$

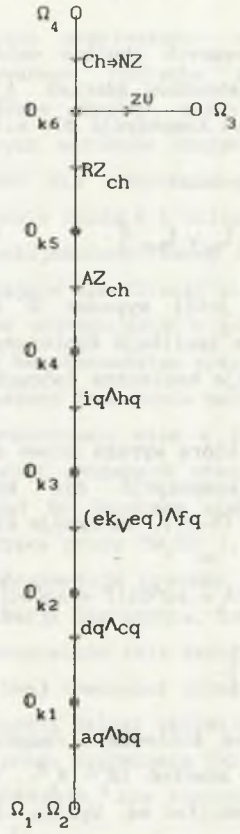
Na podstawie wzoru (5.26) można sporządzić graf koniecznego łańcucha zdarzeń $\mathcal{L}_{kch}$ poprzedzającego chorobę zawodową, który jednoznacznie odwzorowuje relacje zachodzące pomiędzy zdarzeniami, zanim dochodzi do choroby zawodowej.




Rys.5.4. Graf koniecznego łańcucha zdarzeń poprzedzającego chorobę zawodową
Fig.5.4. Graph of the necessary chain of events preceding a mining disease

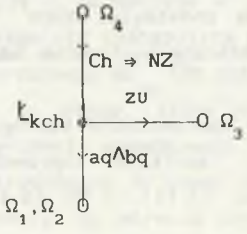
Podobnie jak na rys.5.2 redukcja grafu przedstawionego na rys.5.4 pozwala na uzyskanie grafu jednościeżkowego (rys.5.5), który obrazuje różne stany i procesy zachodzące w środowisku pracy warunkujące konieczne następstwo zdarzeń poprzedzające chorobę zawodową.

Dalsza redukcja grafu pozwala sprowadzić go do pięciu węzłów, pośród których występuje jedno źródło, trzy studnie oraz jeden rozpatrywany węzeł wewnętrzny $Z_{ch}$, podobnie jak na rys.5.3.




Rys. 5.5. Zredukowany graf łańcucha zdarzeń poprzedzającego chorobę zawodową

Fig. 5.5. Reduced graph of the chain of events preceding a mining deseace




Rys. 5.6. Maksymalnie zredukowany graf następstwa zdarzeń poprzedzającego chorobę zawodową

Fig. 5.6. Maximum reduced graph of the chain of events preceding a mining desease

## 5.3. KONIECZNY ŁAŃCUCH ZDARZEŃ POPRZEDZAJĄCY SZKODLIWOŚĆ

Pojawienie się w środowisku pracy rozpatrywanych skutków ostatecznych W i Ch implikuje pojawienie się koniecznych łańcuchów zdarzeń $Ł_{kw}$ i $Ł_{kch}$ (wzory 5.19 i 5.26). Korzystając z ogólnego prawa kompozycji dla alternatywy (wzór 3.22), otrzymuje się:

$$\left((W \Rightarrow Ł_{kw}) \wedge (Ch \Rightarrow Ł_{kch})\right) \Rightarrow \left((W \vee Ch) \Rightarrow (Ł_k \equiv Ł_{kw} \vee Ł_{kch})\right). \qquad (5.27)$$

Wzór (5.27) można odczytać następująco: jeśli wypadek W implikuje konieczny łańcuch zdarzeń $Ł_{kw}$ i choroba zawodowa implikuje konieczny łańcuch zdarzeń $Ł_{kch}$, to alternatywa W lub/i Ch implikuje konieczny łańcuch zdarzeń $Ł_k$ stanowiący alternatywę $Ł_{kw}$ lub/i $Ł_{kch}$.

Zgodnie z zasadą przechodniości implikacji, którą wyraża prawo sylogizmu hipotetycznego (wzór 3.16) oraz prawem kompozycji dla koniunkcji (wzór 3.25) na podstawie wzorów (5.18), (5.25) i (5.27), otrzymuje się:

$$\left(Ł_k \Rightarrow aq \wedge bq\right) \Rightarrow \left(Ł_k \Rightarrow [(Z_k \Rightarrow aq \wedge bq) \wedge (Y_k \Rightarrow aq \wedge bq) \wedge \ldots \wedge (A_k \Rightarrow aq \wedge bq)] \Rightarrow aq \wedge bq\right) \Rightarrow$$

$$\Rightarrow \left([\{Z_k \wedge Y_k \wedge \ldots \wedge A_k\} \Rightarrow aq \wedge bq]\right). \qquad (5.28)$$

Wzór (5.28) pozwala stwierdzić, że warunkiem koniecznym rozpatrywanego łańcucha zdarzeń $Ł_k$, a wynikającego ze zbioru zdarzeń $\{Z_k \wedge Y_k \wedge \ldots \wedge A_k\}$ są ruch ZG bq i prowadzenie ruchu przez jego kierownictwo aq. Wynika to również z grafów przedstawionych na rysunkach 5.3 i 5.6. Wymienione zdarzenie $aq \wedge bq$ stanowi praprzyczynę koniecznego następstwa zdarzeń i nie było analizowane, gdyż wynika z następstwa zdarzeń, którego przyczyna znajduje się częściowo poza ZG.

Wzór (5.28) potwierdza oczywisty pogląd, że bez prowadzonego wydobycia nie byłoby wypadków i chorób zawodowych. Na podstawie wzoru 5.27 można by narysować wspólny graf przedstawiający konieczne następstwo zdarzeń poprzedzające szkodliwość.

Zaprzeczenie łańcucha zdarzeń $Ł_k$, wynikające z zaprzeczenia któregokolwiek składnika istotnego warunku koniecznego, implikuje zaprzeczenie wypadków i chorób zawodowych, zgodnie ze wzorami (3.11), (3.18), (5.19) i (5.26).

$$\left((W \vee Ch) \Rightarrow \overline{L}_k\right) \Rightarrow \left(\overline{L}_k \Rightarrow (\overline{W} \wedge \overline{Ch})\right). \qquad (5.29)$$

Logiczne zaprzeczenie nie oznacza jednak rzeczywistego zaprzeczenia rozpatrywanego łańcucha zdarzeń i skutku ostatecznego. Rzeczywiste zaprzeczenie skutku ostatecznego może tylko wynikać z wprowadzenia dodatkowych warunków ubocznych w środowisku pracy, stwarzających warunki regresywne dla niepożądanego następstwa zdarzeń. Rozważania takie będą prowadzone w rozdz.6 i dalszych.

Wyselekcjonowane losowe łańcuchy zdarzeń $\overline{L}_{kw} \vee \overline{L}_{kch}$ (wzory 5.19 oraz 5.26) poprzedzające szkodliwość stanowią punkt wyjścia do rozważań nad zagrożeniem względnym występującym w górniczym środowisku pracy oraz stosowaną celową techniką bezpieczeństwa pracy.

Wprowadzone poprzednio makrozdarzenia $\mathbb{O}_k$ oznaczają:

- $\mathbb{O}_{k6}$ przedstawia stan w środowisku pracy, który decyduje bezpośrednio o rozmiarach doznanych urazów U oraz nieodwracalnych zmian chorobowych NZ u załogi ZG (podczas niebezpiecznego zetknięcia się załogi z obiektami środowiska pracy $ZW \vee RZ_{ch}$),
- $\mathbb{O}_{k5}$ reprezentuje procesy, zachodzące w środowisku pracy określane jako aktywizacja zagrożenia, wskutek których mają miejsce:
  - niebezpieczne (dla załogi) zmiany parametrów środowiska pracy (AZ) przy możliwej obecności załogi (ys),
  - czynności załogi aktywizujące zagrożenie ($AZ_c$) przy możliwym rzeczywistym progu zagrożenia ($RZ_c, RZ_{gs}$),
  - długotrwała, nie kontrolowana ekspozycja załogi na czynniki szkodliwe ($AZ_{ch}$).

  Gdy mają miejsce makrozdarzenia $\mathbb{O}_{k5}$ i $\mathbb{O}_{k6}$, środowisko pracy znajduje się w fazie zagrożenia pełnego (ZaP).
- $\mathbb{O}_{k4}$ przedstawia nie kontrolowane zmiany parametrów ik, spowdowane przez czynnik ludzki, nie kontrolowane stany $ks \vee ns$ oraz nie kontrolowane procesy $iq \vee jq_{i:j}$ zachodzące w środowisku pracy, w wyniku których może zostać osiągnięty rzeczywisty próg zagrożenia wypadkowego $RZ_{gw:gs} \vee RZ_l \vee RZ_t \vee RZ_p$, chorobowego $RZ_{ch}$ lub aktywizacja zagrożenia $AZ_s$.

  Są to stany, które odpowiadają fazie zagrożenia umownego (ZaU) dla zagrożenia wypadkowego i chorobowego, gdy jest stosowany kierowany system zatrudnienia. W innym przypadku przy występujących deficytach bezpieczeństwa po stronie czynnika ludzkiego ma miejsce aktywizacja zagrożenia chorobowego $AZ_{ch}$ (faza ZaP).

- $\Theta_{k3}$ reprezentuje parametry środowiska pracy $gk_V gq_V ek_V eq$ oraz działanie załogi fq zorientowane na czynności hq oraz wpływ na parametry środowiska pracy $(gk)_V(gq)$,
- $\Theta_{k2}$ reprezentuje roboty górnicze dq odbywające się w różnych uwarunkowaniach górniczych i technicznych oraz działanie dozoru cq zorientowane na załogę fq oraz na roboty górnicze (dq),
- $\Theta_{k1}$ reprezentuje ruch ZG bq, odbywający się w różnych uwarunkowaniach górniczych, technicznych i międzyludzkich oraz działanie kierownictwa aq, zorientowane na dozór cq i na ruch ZG (bq).

Gdy mają miejsce makrozdarzenia $\Theta_{k3}$, $\Theta_{k2}$ i $\Theta_{k1}$, środowisko pracy może się znajdować w fazie zagrożenia umownego (ZaU) przy występujących deficytach bezpieczeństwa.

## 6. UOGÓLNIENIE POJĘĆ ZAGROŻENIA I BEZPIECZEŃSTWA

Środowisko pracy można traktować jako zbiór zachodzących zdarzeń. Każde zdarzenie jest skutkiem jakiejś przyczyny (nieraz i warunku głównego), co było omawiane szczegółowo w rozdz.3. Stanowi to warunek konieczny, ale nie wystarczający zajścia rozpatrywanego skutku w środowisku pracy, gdyż określona przyczyna może wywołać różne skutki, zależnie od uwarunkowań ubocznych.

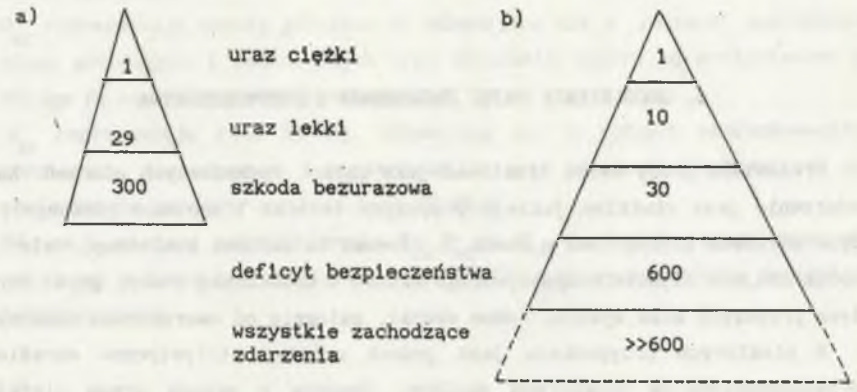
W niektórych przypadkach jest jednak możliwe statystyczne określenie prawdopodobieństwa niektórych skutków. Zgodnie z zasadą urazu ciężkiego Heinricha [53] zachodzi określona proporcja pomiędzy liczbą następujących skutków: urazem ciężkim, lekkim i bezurazową szkodą materialną (rys.6.1a).

Do podobnych wniosków doszedł Frank Bird [14], badając około 90.000 zdarzeń w dużym amerykańskim zakładzie przemysłowym (zakłady Lucka). Rozszerzył on znacznie zakres przebadanych zdarzeń o przypadki, które wprawdzie chwilowo nie stwarzają możliwości bezpośredniej szkodliwości, jednak przedstawiają stany, które w przyszłości mogą ją warunkować (czyli rodzaj względnego zagrożenia).

Podobne badania prowadzone w innych krajach, w tym również w Polsce [159] potwierdziły tę tezę. Upoważnia to do uczynienia założenia, że odchylenie od stanu określonego obowiązującymi przepisami BHP stwarza stan względnego zagrożenia. Odchylenie to definiujemy jako deficyt bezpieczeństwa (rys.6.1b).

Jeśli podstawa piramidy utworzonej z podzbiorów zdarzeń analizowanych przez F.Birda zostanie uzupełniona pozostałymi zdarzeniami, zachodzącymi w środowisku pracy (linia przerywana na rys.6.1b), to statystycznie można stwierdzić, że aby w środowisku pracy wystąpił jeden uraz ciężki, musi pojawić się kilka urazów lekkich, większa liczba bezurazowych szkód materialnych, wynikających z występującego zagrożenia bezwzględnego oraz znaczna liczba deficytów bezpieczeństwa. Te deficyty bezpieczeństwa można określić jako zagrożenie względne na obecnym etapie poznania występującego

zagrożenia bezwzględnego. Są one determinowane nakazanymi poziomami bezpieczeństwa (PB) wg obowiązujących przepisów BHP [162].




Rys.6.1. a)Piramida zdarzeń Heinricha b)Piramida zdarzeń F.Birda
Fig.6.1. a)The Heinrich pyramid of events b)The F.Bird pyramid of events

Analiza metodami statystycznymi zagrożenia bezwzględnego występującego w środowisku pracy wg F.Birda powinna się opierać na badaniu wszystkich istotnych zdarzeń, a zwłaszcza występujących deficytów bezpieczeństwa, gdyż jest ich najwięcej (metoda odtwarzania zdarzeń [14]), co w praktyce jest trudne do realizacji, aczkolwiek możliwe (system amerykański job safety analysis (JSA), propagowany przez Mine Safety and Health Administration (MSHA) [15a]).

W rozdziale 7 zostanie przeprowadzona analiza retrospektywna możliwej sytuacji w ZG przed zaistniałym wypadkiem przy pracy i chorobą zawodową, związaną z zagrożeniem pyłowym. Zaistniała szkodliwość będzie stanowić punkt wyjścia do określenia warunków półdeterministycznych niepożądanego następstwa zdarzeń. Wymienione warunki będą zawierać wszystkie możliwe deficyty bezpieczeństwa na obecnym etapie poznania wymienionego zagrożenia.

Rozpatrywanym zdarzeniom zgodnie z pkt.3.2 zostają przyporządowane nowe wartości logiczne, stanowiące zawężenie założeń poczynionych w pkt.3.1.

Przyjęto, że zdarzenia stanowiące składniki istotne warunku koniecznego niepożądanego następstwa zdarzeń (przykładowo zdarzenie $ek \wedge es_1$) przyjmują wartość logiczną 1 (zawsze są prawdziwe). Warunkami ubocznymi stwarzającymi warunki progresywne niepożądanego następstwa zdarzeń (na obecnym etapie poznania zagrożenia bezwzględnego) są występujące deficyty bezpieczeństwa

przykładowo $Za_1 \vee Sa_2$ (rozdział 4) - o ile występują, przymują również wartość logiczną 1.

Zaprzeczeniem logicznym składnika istotnego warunku koniecznego (przykładowo ek) jest jego niezachodzenie $\overline{ek}$, przyjmujące wartość logiczną 0, natomiast zaprzeczeniem zdarzenia (przykładowo $es_1 \vee Za_1 \vee Sa_2$) jest zdarzenie stanowiące cel pośredni (rozdział 4) - $\left[\overline{es}_1 \wedge PB_1 \wedge PB_2\right]$, które przyjmuje wartość logiczną i rzeczywistą 0 (rozdział 3).

$$\overline{es_1 \vee Za_1 \vee Sa_2} \equiv \left[\overline{es}_1 \wedge PB_1 \wedge PB_2\right] \qquad (6.1)$$

Wartość logiczna i rzeczywsta 0 oznacza w tym przypadku brak zagrożenia względnego, co należy traktować hipotetycznie. Oznacza to, że nakazane poziomy bezpieczeństwa $PB_1$ i $PB_2$ stwarzają warunki regresywne dla niepożądanego następstwa zdarzeń, uniemożliwiające zajście zdarzenia stanowiącego składnik istotny warunku koniecznego lub/i jego zajście, jednak ograniczające ujemny wpływ środowiska pracy na załogę zgodnie z definicją bezpieczeństwa podaną w rozdz.1.

W rozpatrywanym środowisku pracy mogą więc występować tylko dwa przeciwstawne (wykluczające się) względne stany: zagrożenie lub bezpieczeństwo na na obecnym etapie poznania zagrożenia bezwzględnego, zgodnie z prawem wyłącznego środka (wzór 3.9). Przykładowo

$$PB_2 \vee Sa_2 \equiv 1. \qquad (6.2)$$

Przyjęte założenie stanowi znaczne uproszczenie w stosunku do rzeczywistości, jest jednak akceptowane w obowiązujących przepisach BHP. Do tego zagadnienia jeszcze powrócimy w dalszej części rozdziału 6.

Zdarzenie $ZaU \vee ZaP$ determinuje zbiór zdarzeń $\mathbb{Z}aU \vee \mathbb{Z}aP$.

$$ZaU \vee ZaP \equiv \mathbb{Z}aU \vee \mathbb{Z}aP \equiv \{(Za_1 \vee Sa_1) \vee \ldots \vee (Za_j \vee Sa_j)\}, \qquad (6.3)$$

gdzie j - liczba przyjętych poziomów bezpieczeństwa na obecnym etapie poznania rozpatrywanego zagrożenia bezwzględnego (rozdział 4).

Pojawienie się chociażby jednego deficytu bezpieczeństwa Za lub/i Sa inicjuje fazę zagrożenia w środowisku pracy. Innymi słowy zbiór zdarzeń $\mathbb{Z}aU \vee \mathbb{Z}aP$ przedstawia tę samą wartość logiczną co fazy $ZaU \vee ZaP$. Wzór (6.3) wyraża definicję fazy zagrożenia.

Pełna lista możliwych deficytów bezpieczeństwa po stronie parametrów środowiska pracy Za i sprawstwa progresywnego Sa (na obecnym etapie poznania) jest następująca:

$Sa_1 \equiv Sa_{PT} \vee Za_1 \equiv Za_{PT}$ - w zakresie nakazanej profilaktyki technicznej,

$Za_2 \equiv Z_{PP}$ - w zakresie parametrów pożądanych,

$Za_3 \equiv Za_{FPZ}$ - w zakresie formalnego progu zagrożenia,

$Sa_4 \equiv Sa_{KA} \vee Za_4 \equiv Z_{KA}$ - w zakresie pomiarowej kontroli automatycznej parametrów środowiska pracy,

$Sa_5 \equiv Sa_D$ - w zakresie decyzji,

$Sa_6 \equiv Sa_{KO}$ - w zakresie kształtowania osobowości załogi,

$Sa_7 \equiv Sa_K$ - w zakresie kontroli załogi i parametrów środowiska pracy,

$Sa_8 \equiv Sa_{OO}$ - w zakresie ochron osobistych,

$Sa_9 \equiv Sa_{KM}$ - w zakresie kontroli medycznej,

$Za_{10} \equiv Za_{SPZ}$ - w zakresie statystycznego progu zachorowalności,

$Sa_{11} \equiv Sa_{KSZ}$ - w zakresie kierowania załogi na stanowiska pracy w zależności od dawki narażenia,

$Sa_{12} \equiv Sa_{SA} \vee Za_{12} \equiv Za_{SA}$ - w zakresie systemów alarmujących,

$Sa_{13} \equiv Sa_P$ - w zakresie udzielania pierwszej pomocy,

$Sa_{14} \equiv Sa_R$ - w zakresie ratownictwa,

$Sa_{15} \equiv Sa_{PM}$ - w zakresie profilaktyki medycznej.

Zgodnie z rozważaniami prowadzonymi w rozdziałach 3 i 5 rozpatrywana szkodliwość $W_V Ch$ wynika z koniecznego łańcucha zdarzeń $Ł_k$, który z kolei wynika z ruchu ZG i prowadzenia ruchu przez jego kierownictwo $aq \wedge bq$ (wzory 3.40 i 5.28). Na podstawie prawa symplifikacji dla alternatywy (wzór 3.20) oraz rozważań prowadzonych w tym rozdziale otrzymuje się zależność wyrażoną w zapisie rachunku zdań.

$$W_V Ch \Rightarrow Ł_k \Rightarrow \left[ Ł \equiv \left\{ Ł_k \vee \left( ZaU_V ZaP \right) \right\} \right] \Rightarrow aq \wedge bq, \qquad (6.4)$$

gdzie $ZaU_V ZaP \equiv ZaU_V ZaP \equiv \{(Za_1 \vee Sa_1) \vee (Za_2 \vee Sa_2) \vee \ldots \vee Sa_j\}$, (j=15) - możliwe deficyty bezpieczeństwa, występujące w środowisku pracy na obecnym etapie poznania,

$Ł_k$ - konieczny łańcuch zdarzeń (rozdział 5),

$Ł$ - półdeterministyczny łańcuch niepożądanych zdarzeń.

Zależność (6.4) należy odczytać następująco: wypadki lub/i choroby zawodowe implikują konieczny łańcuch zdarzeń $Ł_k$ (rozdział 5), a ten z kolei implikuje półdeterministyczny łańcuch niepożądanych zdarzeń $Ł$, stanowiący warunek konieczny następstwa zdarzeń na obecnym etapie poznania zagrożenia bezwzględnego, występującego w środowisku pracy. Wzór (6.4) przedstawia ogólny model zagrożenia.

Podobnie jak w rozdziale 5 otrzymuje się

$$Ł \equiv Ł_w \vee Ł_{ch} \equiv \left\{ \mathbb{O}_6 \Rightarrow \mathbb{O}_5 \Rightarrow \ldots \Rightarrow \mathbb{O}_1 \right\} \equiv \left\{ \mathbb{Z} \Rightarrow \mathbb{Y} \Rightarrow \ldots \Rightarrow \mathbb{A} \right\}, \qquad (6.5)$$

gdzie $\mathbb{O}_6, \mathbb{O}_5, \ldots \mathbb{O}_1$ - wyselekcjonowane makrozdarzenia obejmujące grupę zdarzeń stanowiących warunki półdeterministyczne niepożądanego następstwa zdarzeń (na obecnym etapie poznania),

$\mathbb{Z}, \mathbb{Y}, \ldots \mathbb{A}$ - warunki półdeterministyczne stanowiące warunki konieczne następstwa zdarzeń (na obecnym etapie poznania).

Zdarzeniem przeciwnym do deficytów bezpieczeństwa, które występują w fazie $ZaU \vee ZaP$, są nakazane poziomy bezpieczeństwa $PB_j$ utrzymywane w fazie bezzagrożeniowej BZa (rozdział 4)

$$\overline{Za_j \vee Sa_j} \equiv \overline{Za}_j \wedge \overline{Sa}_j \equiv PB_j. \qquad (6.6)$$

Pełna lista ustanowionych poziomów bezpieczeństwa $PB_j$ w zakresie parametrów środowiska pracy i sprawstwa regresywnego jest następująca:

$PB_1 \equiv PT \wedge \overline{Sa}_{PT}$ - nakazana lub zalecana profilaktyka techniczna,
$PB_2 \equiv PP$ - pożądane parametry środowiska pracy,
$PB_3 \equiv FPZ$ - formalny próg zagrożenia,
$PB_4 \equiv KA \wedge \overline{Sa}_{KA}$ - kontrola automatyczna parametrów środowiska pracy,
$PB_5 \equiv \overline{Sa}_D$ - decyzje pożądane,
$PB_6 \equiv \overline{Sa}_{KO}$ - kształtowanie osobowości załogi,
$PB_7 \equiv \overline{Sa}_K$ - kontrola załogi i parametrów środowiska pracy,
$PB_8 \equiv \overline{Sa}_{OO}$ - ochrony osobiste,
$PB_9 \equiv \overline{Sa}_{KM}$ - kontrola medyczna,
$PB_{10} \equiv SPZ$ - statystyczny próg zachorowalności,
$PB_{11} \equiv \overline{Sa}_{KSZ}$ - kierowany system zatrudnienia,
$PB_{12} \equiv \overline{Sa}_{SA}$ - systemy alarmujące,
$PB_{13} \equiv \overline{Sa}_P$ - pierwsza pomoc,
$PB_{14} \equiv \overline{Sa}_R$ - ratownictwo,
$PB_{15} \equiv \overline{Sa}_{PM}$ - profilaktyka medyczna.

Jednoczesne stosowanie i utrzymywanie nakazanych poziomów bezpieczeństwa stanowi istotę fazy BZa (rozdział 4).

$$BZa \equiv \overline{BZa} \equiv \left\{PB_1 \wedge PB_2 \wedge \ldots \wedge PB_j\right\} \qquad (j=15), \qquad (6.7)$$

gdzie $PB_j$ - poziomy bezpieczeństwa ustanowione obowiązującymi przepisami BHP.

Wzór (6.7) wyraża definicję fazy bezzagrożeniowej na obecnym etapie poznania zagrożenia bezwzględnego. Fazy $ZaU_VZaP$ stanowią zaprzeczenie fazy BZa:

$$\overline{BZa} \equiv \overline{\overline{BZa}} \equiv \overline{\{PB_1 \wedge PB_2 \ldots \wedge PB_j\}} \equiv \{(Za_1 \vee Sa_1) \vee (Za_2 \vee Sa_2) \vee \ldots \vee (Za_j \vee Sa_j)\}. \qquad (6.8)$$

Zaprzeczenie półdeterministycznego łańcucha niepożądanych zdarzeń (wzór 6.4), co jest równoznaczne z utrzymaniem nakazanych poziomów bezpieczeństwa $PB_j$ (wzór 6.7), zgodnie z prawem de Morgana (wzór 3.11) i prawem transpozycji (wzór 3.18) implikuje zaprzeczenie rozpatrywanej szkodliwości.

$$\left(W_VCh \Rightarrow \left[\overline{Ł} \equiv \left\{\overline{Ł}_k \vee \left(Zau_VZaP\right)\right\}\right]\right) \Rightarrow \left(\left[\overline{\overline{Ł}} \equiv \left\{\overline{\overline{Ł}}_k \wedge BZa\right\}\right] \Rightarrow \overline{W \wedge Ch}\right) \qquad (6.9)$$

Wzór (6.9) przedstawia tautologię rachunku zdań, co można sprawdzić sporządzając matrycę, z której wynika, że logiczne zajście zdarzenia $W_VCh$ implikuje półdeterministyczny łańcuch zdarzeń $\overline{Ł}$, a logiczne zaprzeczenie łańcucha zdarzeń $\overline{Ł}$ implikuje zaprzeczenie rozpatrywanych skutków $\overline{W \wedge Ch}$.

| $W_VCh$ | $\overline{Ł}$ | $\overline{\overline{Ł}}$ | $\overline{W \wedge Ch}$ | $W_VCh \Rightarrow \overline{Ł}$ | $\overline{Ł} \Rightarrow \overline{W \wedge Ch}$ | $\left(W_VCh \Rightarrow \overline{Ł}\right) \Rightarrow \left(\overline{Ł} \Rightarrow \overline{W \wedge Ch}\right)$ |
|---|---|---|---|---|---|---|
| 1 | 1 | 0 | 0 | 1 | 1 | 1 |
| 0 | 1 | 0 | 1 | 1 | 1 | 1 |
| 1 | 0 | 1 | 0 | 0 | 0 | 1 |
| 0 | 0 | 1 | 1 | 1 | 1 | 1 |

Logiczne przerwanie łańcucha niepożądanych zdarzeń wyrażone przez wzór (6.9) następuje wskutek zaprzeczenia któregokolwiek ze składników istotnych warunku koniecznego, natomiast logiczne i rzeczywiste przerwanie łańcucha niepożądanych zdarzeń może nastąpić jedynie wskutek utrzymywanych poziomów bezpieczeństwa $PB_{1:j}$, stwarzających warunki regresywne dla niepożądanego następstwa zdarzeń, przez oddziaływanie na składniki istotne warunku koniecznego, tj. na przyczyny (lub i warunki główne).

Prawa strona wzoru (6.9) przedstawia ogólny model bezpieczeństwa realizowany przez celową technikę bezpieczeństwa pracy stosowaną w górnictwie do wyeliminowania lub maksymalnego ograniczenia ujemnego wpływu środowiska na załogę.

W rozdziałach 7 i 8 zostanie przeprowadzona weryfikacja przyjętych modeli zagrożenia i bezpieczeństwa (wzory 6.4 i 6.9) przez określenie ich szczegółowej postaci dla zagrożenia pyłowego.

W środowisku pracy, w którym wskutek niedostatecznego rozpoznania występującego zagrożenia $Za_b$ nie ustanowiono jeszcze odpowiednich poziomów bezpieczeństwa $PB_{1:j}$, w stosunku do wszystkich składników istotnych warunku koniecznego, w przypadku tych zdarzeń wzór (6.9) przedstawia jedynie logiczną możliwość przerwania niepożądanego następstwa zdarzeń. Można stwierdzić, że im wyższy jest poziom poznania $Za_b$, tym większa jest liczba ustanowionych poziomów bezpieczeństwa $PB_{1:j}$.

Przyjęte poziomy bezpieczeństwa na ogół stanowią kompromis pomiędzy dopuszczalnym jeszcze ryzykiem zawodu a wymogami produkcji. Istnieje konieczność stałej weryfikacji przyjętych poziomów bezpieczeństwa opartej na konkretnych badaniach stanu bezpieczeństwa i zdrowia załogi, z jednoczesnym badaniem czynników, które mogą niekorzystnie wpływać na stan zdrowia załogi i na wypadkowość [28,88,89,99,134].

Wyznaczone poziomy bezpieczeństwa powinny być do przyjęcia z punktu widzenia technicznych możliwości ich realizacji; powinny jednak dopingować do stałego podnoszenia poziomu technicznego wydobycia i bezpieczeństwa pracy.

Analiza retrospektywna wypadków i chorób zawodowych zaistniałych w górnictwie oraz stały postęp w technice górniczej stanowią podstawę do permanentnej aktualizacji i na ogół zaostrzania obowiązujących przepisów BHP, zwłaszcza w zakresie zagrożeń, które dotychczas nie były lub były słabo rozeznane.

Brak odchyleń od usankcjonowanych poziomów bezpieczeństwa, czyli brak deficytów bezpieczeństwa, jak wynika z prowadzonych rozważań, nie świadczy o osiągnięciu stanu bezwzględnego bezpieczeństwa lub o braku zagrożenia bezwzględnego w rozpatrywanym środowisku pracy, lecz przedstawia jedynie względny stan bezpieczeństwa na obecnym etapie poznania i aktualnych sposobów zwalczania zagrożeń występujących w górnictwie zgodnie z obowiązującymi przepisami BHP.

Obowiązujące przepisy bezpieczeństwa, narzucające środowisku pracy określone poziomy bezpieczeństwa, mogą w niektórych przypadkach okazać się nieskuteczne, przykładowo w razie niewystarczającego rozeznania niektórych zagrożeń [141].

Wymieniony przypadek może również zachodzić, gdy przepisy BHP nie odpowiadają określonym psychofizycznym i socjopsychicznym możliwościom adaptacyjnym załogi. Wtedy może nastąpić stworzenie własnego prawa ustawodawczego, wynikającego z doświadczenia życiowego i zawodowego członków załogi [138]. Wymienione przypadki nie będą oddzielnie rozpatrywane w prowadzonej analizie zagrożenia.

Przedstawiona analiza nie uwzględnia też wielkości występującego zagrożenia, gdyż rozpatruje jedynie dwa możliwe stany: bezpieczeństwo względne i względne zagrożenie, natomiast ocena wielkości występującego aktualnie deficytu bezpieczeństwa na podstawie wielkości odchylenia od przyjętych poziomów bezpieczeństwa, przy różnych zagrożeniach, może nieraz stanowić kwestię wyboru mniejszego zła w trudnej sytuacji awaryjnej. Przykładowo podczas prowadzonej akcji ratowniczej w czasie pożaru podziemnego lub prowadzonym wydobyciu przy występującym zagrożeniu: tąpaniami, metanowym, pożarowym analiza zagrożenia wymagałaby zastosowania logiki wielowartościowej [88,89,138] zamiast dwuwartościowej.

Obowiązujące przepisy BHP w warunkach normalnych wymagają stosowania logiki dwuwartościowej (zagrożenie lub bezpieczeństwo), co znajduje potwierdzenie zarówno przy zagrożeniu chorobowym, jak i wypadkowym.

Przy zagrożeniu chorobowym nawet przy przekroczeniu formalnego progu zagrożenia (FPZ), oprócz obowiązkowego stosowania ochron osobistych (OO), wprowadza się czasem kierowany system zatrudnienia (KSZ), stanowiący kontrolowaną ekspozycję załogi na czynniki szkodliwe występujące w rozpatrywanym środowisku pracy (SPZ), podczas której poza stężeniem czy natężeniem czynnika szkodliwego czas ekspozycji odgrywa zasadniczą rolę [26,101]. KSZ jest stosowany w niektórych zagranicznych zagłębiach węglowych dla zagrożenia pyłowego i zagrożenia hałasem [75].

W przypadku zagrożenia wypadkowego dla niektórych zagrożeń stosowana jest prowokacja aktywizacji zagrożenia bez obecności załogi lub przy pełnej jej ochronie, mająca charakter profilaktyki technicznej (przykładowo prowokowanie wyrzutu gazów i skał, centralne strzelanie, obrywka itd.). Takie postępowanie jest obwarowane odpowiednimi przepisami BHP określającymi nakazane poziomy bezpieczeństwa $PB_{(1)}$ [25,59].

## 7. ANALIZA RETROSPEKTYWNA ZAGROŻENIA PYŁOWEGO

Analiza retrospektywna zagrożenia respirabilnym pyłem kolagenowym i wybuchowym pyłem węglowym ma na celu określenie półdeterministycznego łańcucha zdarzeń, koniecznego dla spowodowania szkodliwości związanej z pyłem, na obecnym etapie poznania rozpatrywanego zagrożenia.

Wyselekcjonowany łańcuch zdarzeń będzie przedstawiał model maksymalnego zagrożenia, gdy w środowisku występują wszystkie możliwe deficyty bezpieczeństwa.

Przyjmuje się, że brak deficytów oznaczałby sytuację, gdy wskutek niedostatecznego jeszcze w chwili obecnej rozeznania występującego zagrożenia bezwzględnego nie ustanowiono odpowiednich poziomów bezpieczeństwa $PB_j$, usankcjonowanych obowiązującymi przepisami BHP (rozdz.6). Przypadek ten zostanie rozpatrzony w rozdz. 8.

Poziomy bezpieczeństwa $PB_{1:j}$, których krótki opis podano przykładowo w tym rozdziale pogrubionym pismem ujętym w ramki, oraz przepisy BHP zacytowane w tekście stanowią jedynie przykłady ilustrujące rozważaną treść i nie wyczerpują ogromnego dostępnego materiału z tego zakresu.

### 7.1. ZAGROŻENIE PYŁAMI RESPIRABILNYMI

Choroba zawodowa Ch[1)] jest niepożądanym skutkiem ostatecznym prowadzonej działalności górniczej. Warunki uznania przez inspektora sanitarnego stopnia wojewódzkiego nieodwracalnych zmian chorobowych (NZ) za chorobę zawodową (Ch) nie będą rozpatrywane (węzeł zewnętrzny grafu $\Omega_4$ na rys.7.1).

---

1) "Choroby zawodowe". Rozporz.Pr.RM.z dnia 18.11.1983.

Jeśli nastąpiło uznanie choroby zawodowej Ch, to przedtem u członka załogi ZG musiały się pojawić nieodwracalne zmiany chorobowe płuc (NZ) w postaci zwłóknienia tkanki płucnej [98a], spowodowane wdychaniem respirabilnych pyłów kolagenowych w miejscu zatrudnienia (potwierdzone odpowiednimi badaniami medycznymi [152]), a jeszcze przedtem musiał się pojawić zbiór zdarzeń Z.

$$Ch \Rightarrow NZ \Rightarrow Z = \{(RZ_{ch} \vee Sa_{PM}) \wedge ZU\}, \qquad (7.1)$$

gdzie $RZ_{ch}$ - rzeczwisty próg zagrożenia chorobowego oznaczający początek, zrazu niezauważalnych przy obecnym stanie wiedzy medycznej, nieodwracalnych zmian chorobowych w organizmie członków załogi, co oznacza niebezpieczne zetknięcie załogi z obiektami środowiska pracy [98a,152],

ZU - zbieżność uwarunkowań, w której zasadnicze znaczenie mają: indywidualna odporność narażonego, intensywność pracy lub wpływ rozpatrywanego, lub innego czynnika szkodliwego poza ZG (przykładowo zanieczyszczenia atmosfery w miejscu zamieszkania narażonego). Wpływ ZU na pojawienie się nieodwracalnych zmian chorobowych u załogi odzwierciedla znaczne zróżnicowanie czasu ekspozycji załogi (10 do 20 lat) na kolagenowy pył respirabilny, zawierający kryształki krzemu $SiO_2$ lub krzem bezpostaciowy, do momentu pojawienia się nieodwracalnych zmian chorobowych [68,69]. ZU jest skutkiem następstwa zdarzeń, którego warunki nie będą analizowane (węzeł zewnętrzny grafu $\Omega_3$).

$Sa_{PM}$ - możliwe sprawstwo progresywne w zakresie profilaktyki medycznej.

Profilaktyka medyczna (PM) stanowi sprawstwo regresywne ($\overline{Sa}_{PM}$) dla rzeczywistego progu zagrożenia chorobowego. Obejmuje ona swym zasięgiem szereg działań, do których należą między innymi:

$\overline{Sa}_{PM}$ – badania medyczne mające na celu określenie rozmiaru występujących zmian chorobowych [98a,152],
- leczenie sanatoryjne mające na celu wzmocnienie organizmu i pobudzenie go do samoobrony [17],
- rehabilitacja zawodowa połączona ze zmianą miejsca pracy, 3)
- w razie stwierdzenia przekroczenia najwyższych dopuszczalnych stężeń czynnika szkodliwego zakład jest zobowiązany do ".... zapewnienia wzmożonej opieki lekarskiej osób narażonych". 2)

Jeśli w środowisku pracy został osiągnięty rzeczywisty próg zagrożenia chorobowego $RZ_{ch}$, to przedtem musiał się pojawić zbiór zdarzeń $\Psi$.

$$RZ_{ch} \Rightarrow \Psi \equiv \{AZ_{ch} \vee Za_{SPZ} \vee Sa_{KM}\}, \qquad (7.2)$$

gdzie $AZ_{ch}$ -aktywizacja zagrożenia chorobowego, czyli nie kontrolowana ekspozycja załogi na działanie kolagenowych pyłów respirabilnych, stanowiąca przyczynę analizowanego następstwa zdarzeń, oznaczająca pracę (mierzoną w latach) w warunkach szkodliwych dla zdrowia,

$Za_{SPZ}$-możliwy deficyt bezpieczeństwa w zakresie statystycznego progu zachorowalności.

Utrzymywanie w środowisku pracy statystycznego progu zachorowalności (SPZ) stwarza warunki regresywne uniemożliwiające aktywizację zagrożenia chorobowego, która stanowi warunek konieczny niepożądanego następstwa zdarzeń.

**SPZ - statystyczny próg zachorowalności generalnie zależy od średniego stężenia zapylenia S > NDS, na jakie jest narażona załoga i od czasu ekspozycji $\tau$**

$$SPZ = S\,\tau.$$

**SPZ ponadto uzależnia się od wieku i od stanu zdrowia narażonego.** 4)

**Niekiedy bierze się dodatkowo pod uwagę zależność SPZ od udziału w pyle $SiO_2$, przy czym zależność ta nie jest liniowa.** 5)

$Sa_{KMH}$ - możliwe sprawstwo regresywne w zakresie nakazanej kontroli medycznej.

KKH Systematycznie przeprowadzana kontrola medyczna załogi (KM) stanowi sprawstwo regresywne ($\overline{Sa}_{KM}$), sprzyjające możliwie wczesnemu wykryciu początków nieodwracalnych zmian pyliczych u załogi, co może spowodować przerwanie ekspozycji na czynnik szkodliwy.

$\overline{Sa}_{KM}$ - istotne jest zdjęcie rentgenograficzne płuc wykonywane raz w ciągu roku u osób narażonych na ekspozycję pyłową.

Jeśli w środowisku pracy ma miejsce aktywizacja zagrożenia chorobowego $AZ_{ch}$, przy możliwym deficycie w zakresie ustanowionego statystycznego progu zachorowalności $Za_{SPZ}$, to przedtem musiał się pojawić zbiór zdarzeń ▯.

$$AZ_{ch} \vee Za_{SPZ} \Rightarrow ▯ \equiv \{(iq \vee Za_{NDS}) \wedge (is \vee Sa_{KSZ} \vee Sa_{OO})\}, \qquad (7.3)$$

gdzie iq - nie kontrolowane stężenie zapylenia,

is - nie kontrolowane przebywanie załogi w zasięgu respirabilnego pyłu kolagenowego,

$Za_{NDS}$ - możliwy deficyt bezpieczeństwa w zakresie najwyższego dopuszczalnego stężenia.

Najwyższe dopuszczalne stężenie pyłu respirabilnego (NDS) stwarza uwarunkowanie regresywne dla nie kontrolowanego stężenia zapylenia w środowisku pracy.

**NDS - wielkość dopuszczalnego stężenia określają ogólne przepisy 2) oraz przepisy górnicze 6). Obowiązujące NDS, wg tych ostatnich, przedstawia tabela 7.1 w zależności od udziału $SiO_2$. Wymieniona tabela ujmuje również ustanowione stopnie zagrożenia, które w zależności od wielkości przekroczenia obowiązujących przepisów wprowadzają określone nakazy (będą rozpatrzone w dalszej części prowadzonej analizy).**

2)Rozporządzenie Ministra Pracy i Polityki Socjalnej z 1.12.1989 w sprawie najwyższych dopuszczalnych stężeń i natężeń czynników szkodliwych dla zdrowia w środowisku pracy (Dz.U.nr 69 z 20.12.1989) oraz zmiana z dnia 21.10.1991 (Dz.U.nr 114 poz.495)

3) "Kodeks pracy". Ustawa z dnia 26.06.1974 (Dz.U.nr.24.poz.141).

4) Zarządzenie WUG w Saarbrucken z dnia 1.06.1976, znowelizowane 1.10.1979 oraz 25.01.1082,

5) Zarządzenie WUG w Dortmundzie z dnia 20.02.1970, znowelizowane 1.10.1979.

Tabela 7.1

| Stężenie zapylenia | | Rodzaj zapylenia | Zawartość wolnej krzemionki ($SiO_2$) w pyle | | | |
|---|---|---|---|---|---|---|
| | | | <2% | 2-10% | 10-50%*) | >50%*) |
| Dopuszczalne | | pył całkowity mg/m$^3$ | do 10 | do 4 | do 2 | do 1 |
| | | pył frakcji wdychalnej mg/m$^3$ | - | do 2 | do 1 | do 0,3 |
| Stopień zagrożenia | I | pył całkowity mg/m$^3$ | >10 do20 | >4 do 8 | >2 do 4 | >1 do 2 |
| | | pył frakcji wdychalnej mg/m$^3$ | - | >2 do 4 | >1 do 2 | >0,3do0,6 |
| | II | pył całkowity mg/m$^3$ | >20 do 40 | >8 do 16 | >4 do 8 | >2 do 4 |
| | | pył frakcji wdychalnej mg/m$^3$ | - | >4 do 8 | >2 do 4 | >0,6do1,2 |
| | III | pył całkowity mg/m$^3$ | >40 | > 16 | > 8 | > 4 |
| | | pył frakcji wdychalnej mg/m$^3$ | - | > 8 | > 4 | > 1,2 |

*) zgodnie ze zmianą wprowadzoną przez aktualne ogólne przepisy 2),

$Sa_{KSZ}$ - możliwe sprawstwo progresywne w zakresie kierowanego systemu zatrudnienia.

Kierowany system zatrudnienia (KSZ) stanowi sprawstwo regresywne ($\overline{Sa}_{KSZ}$), stwarzające w środowisku pracy warunki nie sprzyjające nie kontrolowanemu przebywaniu załogi w zasięgu kolagenowego pyłu respirabilnego przez czasową pracę w innych warunkach (mniej szkodliwych).

6) Norma branżowa BN-86/0408-14 pt: Zanieczyszczenia pyłowe w powietrzu kopalń węgla kamiennego.

$\overline{Sa}_{KSZ}$ Dane wyjściowe są następujące [26,75,101,153]:[4)5)]

- wyrobiska dzieli się na stopnie zagrożenia (podobnie jak w Polsce) w zależności od zmierzonego średniego stężenia zapylenia. Powyżej określonego stopnia zagrożenia wyrobisk nie wolno obłożyć załogą,
- wyrobiska kamienne i stanowiska przy kruszarkach dzieli się również na stopnie zagrożenia. Przy udziale $SiO_2$ >5% do oceny bierze się pod uwagę procentowy udział $SiO_2$,
- dawka narażenia pyłowego, wynikająca ze stopnia zagrożenia pyłowego na określonym stanowisku pracy, i liczby przepracowanych dniówek ustala się centralnie [4,5,26] (indywidualnie dla każdego członka załogi pracującego w warunkach szkodliwych),
- każdy przypadek przekroczenia rocznej lub pięcioletniej dawki narażenia jest analizowany indywidualnie.

$Sa_{OO}$ - możliwe sprawstwo progresywne w zakresie ochron osobistych.

Właściwe stosowanie ochron osobistych (OO) w zakresie zagrożenia kolagenowymi pyłami respirabilnymi stanowi w naszych warunkach istotne sprawstwo regresywne ($\overline{Sa}_{OO}$), nie sprzyjające nie kontrolowanemu przebywaniu załogi w zasięgu pyłu.

$\overline{Sa}_{OO}$ - Najbardziej rozpowszechnione są obecnie lekkie półmaski przeciwpyłowe jednorazowego użytku. W zastosowaniu jest kilka typów takich masek. Główną wadą wymienionych ochron osobistych są opory aerodynamiczne filtracji, znacznie zwiększające się w miarę ekspozycji w środowisku silnie zapylonym [9,10,156].
- Wymienionej wady nie posiadają cięższe i bardziej kłopotliwe w eksploatacji hełmy przeciwpyłowe wyposażone we własny wentylator napędzany z baterii [61,90].

Jeśli miało miejsce nie kontrolowane przebywanie załogi w zasięgu kolagenowego pyłu respirabilnego is, to przedtem musiał się pojawić zbiór zdarzeń H.

$$is \Rightarrow \mathbb{H} \equiv \{hq \vee Sa_{Dz}\}, \qquad (7.4)$$

gdzie hq - czynności wykonywne przez załogę na ogół związane z pracą,

$Sa_{Dz}$ - możliwe sprawstwo progresywne w zakresie niepożądanych czynności wykonywanych przez załogę, co można również określić jako braki w zakresie samokontroli.

Podjęte decyzje pożądane (DP) stanowią sprawstwo regresywne ($\overline{Sa}_{Dz}$), stwarzające warunki nie sprzyjające dla niepożądanych czynności załogi.

> **$\overline{Sa}_{Dz}$ - Załoga bezpośrednio ma niewielki wpływ na kierowany system zatrudnienia, natomiast przepisy bezpieczeństwa obowiązujące w naszym górnictwie wymagają stosowania ochron osobistych przy II i III stopniu zagrożenia pyłowego.**
>
> **- OO stosuje się niezależnie od KSZ.**[2)4)5)7)]

Jeśli miało miejsce nie kontrolowane stężenie zapylenia iq, przy możliwym deficycie bezpieczeństwa w zakresie NDS, to przedtem musiał się pojawić zbiór zdarzeń G.

$$iq \vee Za_{NDS} \Rightarrow \mathbb{G} \equiv \{gq \vee Za_{KA} \vee Sa_{Ks}\}, \qquad (7.5)$$

gdzie gq - stężenie zapylenia S [$mg/m^3$] w zakresie pyłów respirabilnych [56a,67b],

$Za_{KA}$ - możliwy deficyt bezpieczeństwa, w zakresie automatycznego pomiaru stężenia zapylenia pyłów respirabilnych, który może warunkować deficyt bezpieczeństwa $Za_{NDS}$.

Zdalna kontrola automatyczna stężenia zapylenia (KA) stwarza w środowisku pracy warunki regresywne dla stężenia zapylenia, uniemożliające osiągnięcie deficytu bezpieczeństwa w zakresie NDS (przykładowo, przez wcześniejsze wyłączenie urządzenia emitującego szkodliwy pył).

---

7) "Ochrona zdrowia pracowników zatrudnionych w podziemnych zakładach górniczych przed działaniem pyłów". Zarz.Pr.WUG. z dnia 5.03.1980 (MP 10, poz.43).

KA - Zastosowanie tyndalometrycznego pomiaru stężenia zapylenia powietrza kopalnianego przyrządem FMA-TMS1 stwarza możliwości zdalnej i ciągłej kontroli pomiarowej prowadzonej z powierzchni we wszystkich newralgicznych miejscach ZG, w powiązaniu z kontrolą procesów powodujących wzmożoną emisję lotnego pyłu [2, 3].

$Sa_{K_s}$ -możliwe sprawstwo progresywne w zakresie systematycznej kontroli pomiarowej stężenia zapylenia w strumieniu wentylacyjnym w zakresie pyłów respirabilnych.

Kontrola pomiarowa ($K_s$) stanowi sprawstwo regresywne ($\overline{Sa_{Ks}}$), stwarzające w środowisku pracy warunki utrudniające osiągnięcie i przekroczenie nakazanej wartości progowej NDS.

$\overline{Sa_{K_s}}$ - Systematycznie prowadzona ręczna kontrola pomiarowa średniego stężenia zapylenia powietrza kopalnianego 6) jest oparta na pomiarze grawimetrycznym przyrządem Barbara 3A, wyposażonym w elutriator do pomiarów w zakresie respirabilnym lub w mikrocyklon do pomiaru całkowitego zapylenia [92]. 10)

Jeśli załoga wykonuje czynności hq, przy możliwym sprawstwie progresywnym $Sa_{D_z}$ lub/i wywiera określony wpływ na stężenie zapylenia (gq), przy możliwym sprawstwie $Sa_{K_s}$, to przedtem musiał się pojawić zbiór zdarzeń F.

$$[hq \vee Sa_{Dz}] \vee [(gq) \vee Sa_{Ks}] \Rightarrow F \equiv \{fq \vee Sa_{Kz} \vee Sa_{KOz} \vee Sa_{Dd})]\}, \qquad (7.6)$$

gdzie fq - działanie załogi w zakresie prowadzenia robót górniczych na podstawie podejmowanych decyzji,

$Sa_{Kz} \vee Sa_{KOz} \vee Sa_{Dd}$ - możliwe sprawstwo progresywne w zakresie kontroli oraz kształtowania osobowości załogi jak i decyzji podejmowanych przez dozór.

Wymienione poniżej sprawstwa regresywne $\overline{Sa_{Kz}} \wedge \overline{Sa_{KOz}} \wedge \overline{Sa_{Dd}}$ stwarzają warunki nie sprzyjające dla niepożądanego następstwa zdarzeń, którego warunkiem koniecznym jest prowadzenie robót górniczych przez załogę.

$\overline{Sa}_{Kz}$ - Kontrola załogi przez dozór w zakresie działania zgodnego z obowiązującymi przepisami BHP, zwłaszcza w zakresie właściwego stosowania ochron osobistych oraz przeprowadzania systematycznych pomiarów stężenia zapylenia.

- "W podziemnych wyrobiskach oraz w pomieszczeniach na powierzchni związanych bezpośrednio z prowadzeniem ruchu w podziemnych wyrobiskach, w których występuje zapylenie powietrza, należy przeprowadzać pomiary zapylenia oraz analizy pyłu na zawartość substancji szkodliwych dla zdrowia, a w szczególności wolnej krzemionki ($SiO_2$)". 8)
- "Na wszystkich stanowiskach pracy, gdzie występują czynniki szkodliwe dla zdrowia, należy zaopatrywać pracowników w odpowiednią odzież ochronną i sprzęt ochrony osobistej". 8)

$\overline{Sa}_{KOz}$ - Kształtowanie osobowości załogi przez dozór, w zakresie właściwego stosowania ochron osobistych i przeprowadzania systematycznych pomiarów stężenia zapylenia, obejmuje oprócz osobistego wpływu również szkolenie w tym zakresie, odbywające się między innymi w centralnych ośrodkach szkoleniowych górnictwa. 9)

$\overline{Sa}_{Dd}$ - Prowadzenie przez dozór książki ewidencji przepracowanych dniówek, całej sprawozdawczości z tym związanej, jak również obłożenia poszczególnych stanowisk pracy na podstawie aktualnej karty obciążenia pyłowego załogi [26]. 4) 5)

- Decyzje pożądane dozoru podejmowane w zakresie nakazanych $PB_{i:j}$ dotyczących zagrożenia pyłowego. 6) 7)

Jeśli występuje określone stężenie zapylenia gq, to przedtem musiał się pojawić zbiór zdarzeń E.

$$gq \Rightarrow \mathbb{E} \equiv \{eq \vee Za_{PTw} \vee Za_{PTl}\}, \qquad (7.7)$$

gdzie eq - strumień pyłu $m_p$ emitowany do strumienia wentylacyjnego w określonych warunkach technicznych dotyczących zwłaszcza

8) "Przepisy bezpieczeństwa i higieny pracy oraz przepisy bezpieczeństwa pożarowego w podziemnych zakładach górniczych". Rozporz. Prezesa RM z dnia 1.08.1969 (Dz.U.nr 24.poz.176).

9) Wspólnota Węgla Kamiennego. Wytyczne branżowe w sprawie zasad szkolenia w zakresie bezpieczeństwa i higieny pracy pracowników zatrudnionych w jednostkach organizacyjnych będących uczestnikami Wspólnoty Węgla Kamiennego. Katowice 1988.

wielkości i prędkości strumienia wentylacyjnego, składu ziarnowego zawiesiny pyłowej oraz miejscowych i liniowych oporów przepływu. Występujące warunki techniczne decydują przykładowo o "samooczyszczeniu" strumienia wentylacyjnego wskutek sedymentacji pyłu lub o "rozcieńczeniu" zawiesiny pyłowej wskutek zwiększenia strumienia $V_p$,

$Za_{PT_w}$ - możliwy deficyt bezpieczeństwa w zakresie wentylacji.

Wentylacja jest jednym z istotnych czynników determinujących szkodliwość respirabilnego pyłu kolagenowego, gdyż decyduje o jego stężeniu S w strumieniu wentylacyjnym.

$$S = m_p / V_p,$$

gdzie $m_p$ - strumień pyłu emitowanego do strumienia wentylacyjnego, stanowiący zdarzenie quasi-statyczne eq,

$V_p$ - strumień wentylacyjny.

Wentylacja ($PT_w$) w określonym zakresie prędkości strumienia wentylacyjnego stwarza warunki regresywne dla strumienia emitowanego pyłu, warunkujące zmniejszenie stężenia zapylenia gq [107,137,154]. 8)

$PT_w$ - Zakres prędkości przepływu strumienia wentylacyjnego od 1 do 3 m/s stwarza optymalne warunki przepływu, przy którym stężenie zapylenia osiąga minimum [136].

$Za_{PT_1}$ -możliwy deficyt bezpieczeństwa w zakresie profilaktyki technicznej zorientowanej na strumień pyłu eq.

Profilaktyka techniczna stosowana w miejscu powstania i emisji pyłu do strumienia wentylacyjnego ($PT_1$) stwarza warunki regresywne dla strumienia pyłu eq, co ogranicza stężenie zapylenia gq.

10)Główny Instytut Górnictwa. Instrukcja Obsługi pyłomierza grawimetrycznego wielogodzinnego typu "BARBARA 3A". Katowice 1980.

$PT_1$ - Zwalczanie pyłu w miejscu jego powstania i emisji do strumienia wentylacyjnego można podzielić na zwalczanie przed, w czasie i po utworzeniu pyłu, osobno przed jego uniesieniem do strumienia wentylacyjnego oraz po jego uniesieniu. Osobne zagadnienie stanowi problem zwalczania pyłów osiadłych:

- wstępne nawilżanie pokładów węglowych umożliwia zwalczanie pyłu przed jego utworzeniem i realizowane jest przez wprowadzenie do pokładu wody pod ciśnieniem rzędu $p=300.10^5$[Pa], w ilości około 10[$dm^3/m^3$calizny] przez otwory wywiercone od frontu ścianowego lub z chodników wyprzedzających. Zwiększenie wilgotności pokładu przed jego urabianiem, poza innymi korzyściami, skutecznie zmniejsza stężenie zapylenia powietrza o 50% [182d]. Udział procentowy pokładów, które są wstępnie nawilżane w górnictwie niemieckim, wynosi 92% [30,63],
- zraszanie umożliwia zwalczanie pyłu w czasie i po jego utworzeniu i realizowane jest przez układy zraszające zainstalowane na: kombajnach ścianowych, przesypach, wysypach. Zwilżenie pyłu uzyskane przez zraszanie, jeszcze przed jego uniesieniem się do strumienia wentylacyjnego, pozwala na uzyskanie skuteczności zmniejszenia stężenia zapylenia rzędu 50 do 80% [182h]. Dodanie do wody zraszającej środków powierzchniowo aktywnych zwiększa skuteczność zraszania nawet w zakresie pyłów unoszących się w powietrzu [122,177],
- odpylacze umożliwiają zwalczanie pyłu już po jego uniesieniu do strumienia wentylacyjnego, co jest realizowane przez odpylacze mokre lub suche o skuteczności 90 do 99,99%, wprzęgnięte w system wentylacyjny drążonego chodnika [37,182i,134]. Zastosowanie odpylacza w kopalni metanowej ogranicza dobowy postęp drążonego chodnika [38,133a].

Jeśli określony strumień pyłu eq jest emitowany do strumienia wentylacyjnego przy możliwym deficycie w zakresie $Za_{PT1}$, to przedtem musiał się pojawić zbiór zdarzeń $\mathbb{D}$.

$$eq \vee Za_{PT1} \Rightarrow \mathbb{D} \equiv \{dq \vee Za_{PTrg} \vee Sa_{PT1} \vee Sa_{Krg}\}, \tag{7.8}$$

gdzie dq - roboty górnicze odbywające się w określonych uwarunkowaniach górniczych (przykładowo przy danym rodzaju i składzie minerało-

gicznym wydobywanego surowca) i technicznych (przyjętej technologii urabiania kombajnem bębnowym lub strugiem węglowym oraz konstrukcji i stanie technicznym maszyn urabiających i ładujących).

$Za_{PTrg}$ - możliwy deficyt bezpieczeństwa w zakresie profilaktyki technicznej zorientowanej na roboty górnicze dq.

Profilaktyka techniczna zorientowana na roboty górnicze ($PT_{rg}$) stwarza warunki regresywne prowadzące do zmniejszenia strumienia emitowanego pyłu eq.

| |
|---|
| **$PT_{rg}$ -profilaktyka techniczna zorientowana na technologie i techniki urabiania umożliwiające uzyskanie możliwie grubego sortymentu (przykładowo urabianie strugami zamiast kombajnami bębnowymi lub przez specjalne konstrukcje organu urabiającego czy przez jego określone parametry pracy [13,30,60,60a,133,146]).** |

$Sa_{PT1} \vee Sa_{Krg}$ - możliwe sprawstwo progresywne w zakresie stosowania nakazanej profilaktyki technicznej $PT_1$, zorientowanej na strumień pyłu eq emitowany do strumienia wentylacyjnego oraz w zakresie kontroli robót górniczych przez dozór, które może warunkować deficyt bezpieczeństwa $Za_{PT1}$.

Stosowanie wymienionych poniżej przepisów stanowi sprawstwo regresywne $\overline{Sa}_{PT1} \wedge \overline{Sa}_{Krg}$ dla nieprawidłowo przebiegających robót górniczych, w efekcie którego może nastąpić zmniejszenie strumienia pyłu eq.

---

11) "Szczegółowe przepisy prowadzenia ruchu i gospodarki złożem w podziemnych zakładach górniczych wydobywających węgiel kamienny i brunatny". MGiE.Katowice 1984 ze zmianami wyszczególnionymi w zarządzeniu nr 35 Ministra Przemysłu z dnia 24.10.1990.

$\overline{Sa}_{PT1}$ -"W wyrobiskach korytarzowych drążonych kombajnowo w polach niemetanowych i metanowych I kat. zagrożenia metanowego należy stosować wentylację ssącą lub kombinowaną z ssącym lutniociągiem pomocniczym wyposażonym w odpylacz."[11]

-Kombajny powinny być wyposażone w sprawnie działające urządzenia zraszające. [7]

-W górnictwie niemieckim wstępne nawilżanie pokładów jest nakazane. Niestosowanie wymaga oddzielnego zezwolenia.[4] [5]

$\overline{Sa}_{Krg}$ -"W miejscach pracy, w których tworzy się pył szkodliwy dla zdrowia, należy stosować urządzenia i środki zapobiegające powstawaniu pyłu lub unieszkodliwiające jego działanie, a w szczególności odpylanie miejscowe lub przestrzenne i szczelne osłanianie urządzeń wytwarzających pył".[8]

Jeśli są prowadzone roboty górnicze przez załogę fq przy możliwym sprawstwie progresywnym $Sa_{Kz} \vee Sa_{KOz} \vee Sa_{Dd}$ lub/i występuje określony wpływ dozoru na roboty górnicze (dq) przy możliwym sprawstwie progresywnym $Sa_{PT1} \vee Sa_{Krg}$, to przedtem musiał się pojawić zbiór zdarzeń $\mathbb{C}$.

$$[fq \vee Sa_{Kz} \vee Sa_{KOz} \vee Sa_{Dd}] \vee [(dq) \vee Sa_{PT1} \vee Sa_{Krg}] \Rightarrow \mathbb{C} \equiv \{cq \vee Sa_{Kd} \vee Sa_{KOd} \vee Sa_{Dk}\}, \qquad (7.9)$$

gdzie cq - działanie dozoru w zakresie prowadzenia robót górniczych na podstawie podejmowanych decyzji,

$Sa_{Kd} \vee Sa_{KOd} \vee Sa_{Dk}$ - możliwe sprawstwo progresywne w zakresie kontroli i kształtowania osobowości dozoru oraz decyzji podejmowanych przez kierownictwo ZG.

Wymienione poniżej sprawstwa regresywne $\overline{Sa}_{Kd} \wedge \overline{Sa}_{KOd} \wedge \overline{Sa}_{Dk}$ stwarzają warunki nie sprzyjające niepożądanemu następstwu zdarzeń, którego warunkiem koniecznym jest prowadzenie robót górniczych przez dozór.

---

12) "Prawo Górnicze". Dekret z dnia 6.05.1953. Dz.U.nr 29, poz.113 (kolejne nowelizacje: Dz.U.nr 4, poz.12 z 1978, Dz.U.35, poz.186 z 1984, Dz.U.nr 33, poz.180 z 1987, Dz.U.nr 41, poz.324 z 1988, Dz.U.35, poz.192 z 1989, Dz.U.nr 14, poz.89 z 1990, Dz.U.nr 31, poz.128 z 1991.

$\overline{Sa_{Kd}}$ -Kontrola dozoru przez kierownictwo ZG oraz Urzędy Górnicze w zakresie stosowania i utrzymywania w warunkach ruchowych nakazanych poziomów bezpieczeństwa $PB_{1:j}$ w zakresie zagrożenia pyłowego realizowana jest przez systemy: organizacyjny ZG, inspekcje kontrolne i zatwierdzenie na stanowisko przez OUG.[11)12)]

$\overline{Sa_{KOd}}$ -Kształtowanie osobowości dozoru przez kierownictwo w zakresie stosowania i utrzymywania nakazanych poziomów bezpieczeństwa $PB_{1:j}$ obejmuje oprócz osobistego wpływu również systematyczne szkolenie, odbywające się w innych cyklach niż szkolenie załogi.[9)]

$\overline{Sa_{Dk}}$ -"W przypadku stwierdzenia przekroczeń obowiązujących norm czynników szkodliwych dla zdrowia załogi ZG obowiązany jest zastosować odpowiednie środki dla ochrony zdrowia pracowników przed działaniem tych czynników".[8)2)]

-Systematycznie przeprowadzana kontrola medyczna załogi oraz kierowany system zatrudnienia stanowią ostateczne środki chroniące załogę przed nieodwracalnymi zmianami chorobowymi związanymi z zagrożeniem pyłowym.[2)],

- Decyzje pożądane kierownictwa podejmowane w zakresie nakazanych $PB_{1:j}$ dotyczących zagrożenia pyłowego.[12)]

Jeśli odbywają sie roboty górnicze dq przy możliwym deficycie $Za_{PTw} \vee Za_{PTrg} \vee Za_{KA}$, to przedtem musiał się pojawić zbiór zdarzeń $\mathbb{B}$.

$$dq \vee Za_{PTw} \vee Za_{PTrg} \vee Za_{KA} \Rightarrow \mathbb{B} \equiv \{bq \vee Sa_{PTw} \vee Sa_{PTrg} \vee Sa_{KA} \vee Sa_{Kr}\}, \qquad (7.10)$$

gdzie bq - ruch ZG, odbywający się w określonych warunkach górniczych i technicznych oraz przy określonych stosunkach międzyludzkich. Ruch ZG stanowi praprzyczyną analizowanego następstwa zdarzeń, jest skutkiem uwarunkowań, które nie będą analizowane, co było sygnalizowane w rozdziak 5 (węzeł zewnętrzny grafu $\Omega_2$),

$Sa_{PTw} \vee Sa_{PTrg} \vee Sa_{KA} \vee Sa_{Kr}$ -sprawstwo progresywne w zakresie wentylacji, robót górniczych, kontroli automatycznej stężenia zapylenia pyłami respirabilnymi lub/i kontroli ruchu przez kierownictwo ZG, co warunkuje występujący deficyt w zakresie $Za_{PTw} \vee Za_{PTrg} \vee Za_{KA}$.

Sprawstwa regresywne $\overline{Sa}_{PTw} \wedge \overline{Sa}_{PTrg} \wedge \overline{Sa}_{KA} \wedge \overline{Sa}_{Kr}$ stwarzają warunki nie sprzyjające dla niepożądanego ruchu ZG (bq).

> $\overline{Sa}_{PTw} \wedge \overline{Sa}_{PTrg} \wedge \overline{Sa}_{KA} \wedge \overline{Sa}_{Kr}$ -"ZG powinien posiadać odpowiednie środki materiałowe i techniczne oraz odpowiednie służby ruchu dla zapewnienia bezpieczeństwa życia i zdrowia oraz bezpieczeństwa ruchu ZG."[8]
> W razie stwierdzenia przekroczenia NDS zakłady pracy zobowiązane są do:
> ...wprowadzenia środków technicznych, zmian technologicznych, organizacyjnych wpływających na ograniczenie..."[2]

Jeśli są prowadzone roboty górnicze przez dozór cq przy możliwym sprawstwie progresywnym $Sa_{Kd} \vee Sa_{KOd} \vee Sa_{KSZ} \vee Sa_{KM} \vee Sa_{PM} \vee Sa_{OO} \vee Sa_{Dk}$ lub/i występuje określony wpływ kierownictwa na ruch ZG (bq), przy możliwym sprawstwie $Sa_{PTw} \vee Sa_{PTrg} \vee Sa_{KA} \vee Sa_{Kr}$, to przedtem musiał się pojawić zbiór zdarzeń A.

$$[cq \vee Sa_{Kd} \vee Sa_{KOd} \vee Sa_{KSZ} \vee Sa_{KM} \vee Sa_{PM} \vee Sa_{OO} \vee Sa_{Dk}] \vee [(bq) \vee Sa_{PTw} \vee Sa_{PTrg} \vee Sa_{KA} \vee Sa_{Kr}] \Rightarrow$$

$$\Rightarrow A \equiv \{aq \vee Sa_{Kk} \vee Sa_{KOk} \vee Sa_{KSZw} \vee Sa_{Dw}\}, \qquad (7.11)$$

gdzie aq - działanie kierownicta w zakresie prowadzenia ruchu ZG, na podstawie podejmowanych decyzji, stanowiące wraz z ruchem ZG praprzyczynę analizowanego następstwa zdarzeń. Zdarzenie quasistatyczne aq jest skutkiem uwarunkowań, które nie będą rozpatrywane (węzeł zewnętrzny grafu $\Omega_1$),

$Sa_{Kk} \vee Sa_{KOk} \vee Sa_{KSZw} \vee Sa_{Dw}$ - możliwe sprawstwo progresywne w zakresie kontroli i kształtowania osobowości kierownictwa oraz wprowadzenia kierowanego systemu zatrudnienia przez jednostkę nadrzędną oraz decyzji podejmowanych przez tę jednostkę.

Sprawstwa regresywne $\overline{Sa}_{Kk} \wedge \overline{Sa}_{KOk} \wedge \overline{Sa}_{KSZw} \wedge \overline{Sa}_{Dw}$ stwarzają warunki nie sprzyjające dla niepożądanego następstwa zdarzeń, którego warunkiem koniecznym jest prowadzenie ruchu ZG przez jego kierownictwo.

$\overline{Sa}_{Kk}$ -Kontrola kierownictwa ZG przez Urzędy Górnicze w zakresie stosowania i utrzymywania nakazanych poziomów bezpieczeństwa $PB_{1:j}$ przy zagrożeniu pyłowym realizowana jest przez plan ruchu, inspekcje i zawierdzenie na stanowisko kierownicze przez WUG. 12)

$\overline{Sa}_{KOk}$ -Kształtowanie osobowości kierownictwa ZG w zakresie nakazanych poziomów bezpieczeństwa $PB_{1:j}$, dotyczących zagrożenia pyłowego, obejmuje oprócz osobistego wpływu również systematyczne szkolenie, odbywające się w innych cyklach niż szkolenie załogi.i dozoru. 9)

$\overline{Sa}_{KSZw}$ -Na ogół kierowany system zatrudnienia jest wprowadzany centralnie w całym zagłębiu węglowym. 4)5)

$\overline{Sa}_{Dw}$ - Decyzje pożądane podejmowane w zakresie nakazanych $PB_{1:j}$ dotyczących zagrożenia pyłowego. 11)

Wzory (7.1) do (7.11) określają konieczne następstwo zdarzeń poprzedzające chorobę zawodową, związaną z wdychaniem kolagenowych pyłów respirabilnych na obecnym etapie poznania zagrożenia pyłowego.

Korzystając z wyników prowadzonej analizy retrospektywnej, wzorów (6.4), (6.5), (5.26) oraz przechodniości implikacji (wzór 3.16), określono szczegółową zależność opisującą łańcuch zdarzeń poprzedzający zachorowanie na pylicę (warunek półdeterministyczny).

W celu uzyskania większej przejrzystości zachodzące zdarzenia pogrupowano w makrozdarzeniach $O_{6:1}$, które reprezentują różne stany i procesy zachodzące w środowisku pracy (podobnie jak w rozdz.5).

$$Ch \Rightarrow NZ \Rightarrow \overline{L}_{ch} \equiv \left\{ O_6 \equiv \left\{ Z \equiv \left\{ \left[ RZ_{ch} \vee Sa_{PM} \right] \wedge ZU \right\} \right\} \Rightarrow O_5 \equiv \left\{ Y \equiv \left\{ \wedge Z_{ch} \vee Za_{SPZ} \vee Sa_{KM} \right\} \right\} \Rightarrow \right.$$

$$\left. \Rightarrow O_4 \equiv \left\{ I \equiv \left\{ \left[ iq \vee Za_{NDS} \right] \wedge \left[ is \left( \Rightarrow H \equiv \{ hq \vee Sa_{Dz} \} \right) \vee Sa_{00:KSZ} \right] \right\} \right\} \Rightarrow \right.$$

$$\left. \Rightarrow O_3 \equiv \left\{ \left[ F \equiv \left\{ fq \vee Sa_{Kz:KOz:Dd} \right\} \right] \wedge \left[ G \equiv \left\{ gq \left( \Rightarrow E \equiv \{ eq \vee Za_{PTw:PT1} \} \right) \vee Za_{Ek} \vee Sa_{KS} \right\} \right] \right\} \Rightarrow \right.$$

$$\Rightarrow \mathbb{O}_2 \equiv \left\{\left[\mathbb{C}\equiv\left\{cq_V Sa_{Kd:KOd:Dk}\right\}\right] \wedge \left[\mathbb{D}\equiv\left\{dq_V Za_{PTrg} V Sa_{PT1:Krg}\right\}\right]\right\} \Rightarrow$$

$$\Rightarrow \mathbb{O}_1 \equiv \left\{\left[\mathbb{A}\equiv\left\{aq_V Sa_{Kk:KOk:Dw}\right\}\right] \wedge \left[\mathbb{B}\equiv\left\{bq_V Sa_{PTrg:PTw:KA:Kr}\right\}\right]\right\} \Rightarrow aq \wedge ab. \qquad (7.12)$$

Wzór (7.12) można odczytać następująco: Choroba zawodowa związana z wdychaniem kolagenowego pyłu respirabilnego wynika z uprzedniego pojawienia się w środowisku pracy półdeterministycznego łańcucha zdarzeń o przedstawionej strukturze.

Korzystając ze wzorów (7.1) do (7.11) oraz z prawa symplifikacji dla koniunkcji (wzór 3.21), możliwe jest sporządzenie szczegółowego grafu przedstawiającego jednoznacznie występujące następstwo zdarzeń (rys.7.1).

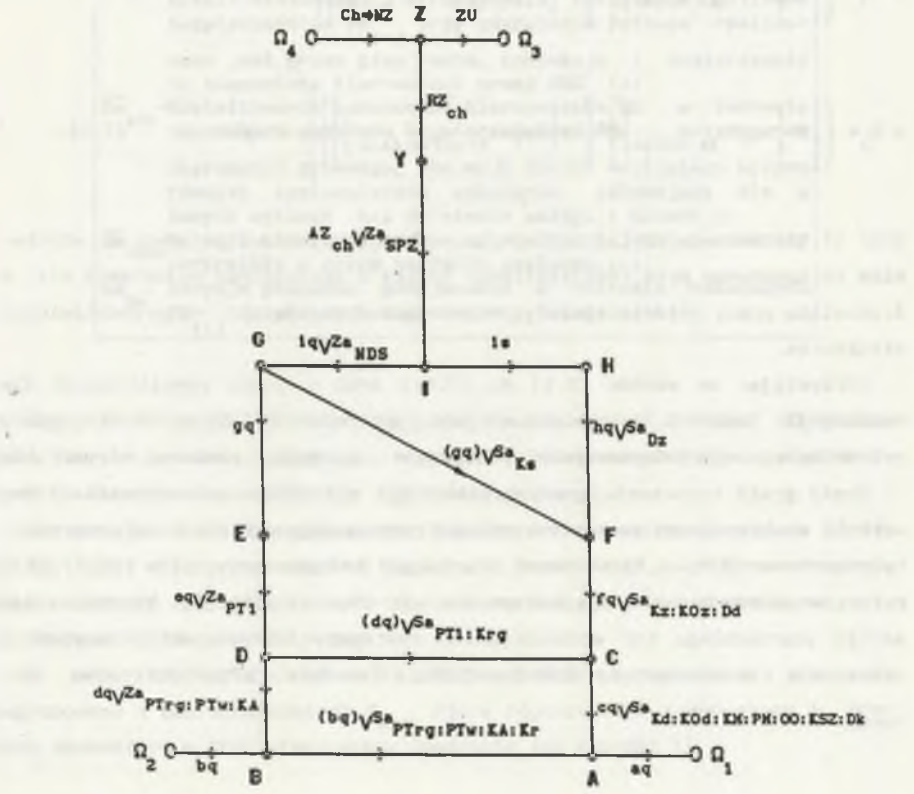
Węzły grafu reprezentują zbiory zdarzeń, stanowiące półdeterministyczne warunki analizowanego następstwa zdarzeń poprzedzającego nieodwracalne zmiany chorobowe (NZ), a spowodowane wdychaniem kolagenowych pyłów respirabilnych, natomiast gałęzie, zorientowane w kierunku implikacji, przedstawiają skutki poprzedniego lub wcześniejszych następstw zdarzeń, które następnie zamieniają się w przyczynę (lub i warunki główne) kolejnego następstwa zdarzeń.

## 7.2. ZAGROŻENIE WYBUCHEM PYŁU WĘGLOWEGO

Wypadek przy pracy W[13] jest niepożądanym skutkiem prowadzonej działalności górniczej. Warunki uznania doznanego urazu (U) za wypadek przy pracy (W) nie będą rozpatrywane (węzeł zewnętrzny grafu $\Omega_1$ - rys.7.2).

Jeśli miał miejsce wypadek przy pracy związany z pyłami wybuchowymi, to przedtem musiał nastąpić uraz, a jeszcze wcześniej musiał się pojawić zbior zdarzeń $\mathbb{Z}$.

$$W \Rightarrow U \Rightarrow \mathbb{Z} \equiv \{(ZW_V Sa_R V Sa_p) \wedge ZU\}, \qquad (7.13)$$




Rys. 7.1. Graf następstwa zdarzeń poprzedzającego chorobę zawodową, związaną z wdychaniem pyłów kolagenowych

Fig. 7.1. Graph of the sequence of events preceding the mining disease associated with inhaled colagen dust

gdzie ZW - zdarzenie wypadkowe, czyli niebezpieczne zetknięcie się załogi z produktami wybuchu pyłu węglowego,

ZU - zbieżność uwarunkowań. ZU jest skutkiem następstwa zdarzeń, którego warunki, podobnie jak przy zagrożeniu chorobowym, nie będą analizowane (węzeł zewnętrzny grafu $\Omega_3$),

$Sa_R \vee Sa_P$ - możliwe sprawstwo progresywne w zakresie ratownictwa lub/i udzielania pierwszej pomocy.

Właściwie działające ratownictwo (R) i prawidłowo udzielona pierwsza pomoc (P) stanowią sprawstwa regresywne $\overline{Sa}_R \wedge \overline{Sa}_P$ stwarzające warunki nie sprzyjające dla niepożądanego następstwa zdarzeń, mogące zmniejszyć skutki niebezpiecznego zetknięcia się załogi z obiektami środowiska pracy.

> $\overline{Sa}_R \vee \overline{Sa}_P$ - **"ZG powinien posiadać odpowiednio zorganizowane i wyposażone ratownictwo górnicze, a mianowicie:**
> - **drużynę ratowniczą,**
> - **kopalnianą stację lub punkt ratownictwa górniczego,**
> - **sprzęt ratowniczy.**
>
> **- Przesiębiorstwo górnicze zobowiązane jest zapewnić pracownikom ZG sprawne udzielanie pierwszej pomocy lekarskiej w razie wypadku przy pracy lub nagłego zachorowania."** [8]

Jeśli nastąpiło zdarzenie wypadkowe ZW, to przedtem musiał się pojawić zbiór zdarzeń Ψ.

$$ZW \Rightarrow \Psi \equiv \{AZ \wedge (ys \vee Sa_{OO})\}, \qquad (7.14)$$

gdzie AZ - ruch produktów wybuchu pyłu węglowego lub/i inne niebezpieczne zmiany parametrów strumienia wentylacyjnego, spowodowane wybuchem,

ys - nie kontrolowane przebywanie załogi w zasięgu skutków wybuchu obłoku pierwotnego lub obłoków wtórnych, czyli w zasięgu rozwijającego się wybuchu pyłu węglowego,

$Sa_{OO}$ - możliwe sprawstwo progresywne w zakresie ochron osobistych.

Ochrony osobiste (OO) właściwie stosowane stanowią sprawstwo regresywne ($\overline{Sa}_{OO}$), stwarzające uwarunkowanie ograniczające nie kontrolowane przebywanie załogi w zasięgu AZ.

---

13) "Ustalenie okoliczności i przyczyn wypadków przy pracy". Rozp. Pr. RM Dz.U. z dnia 21.04.1992 (Dz.U. nr 37, poz. 160).

$\overline{Sa}_{OO}$ -Jak wykazuje analiza przeprowadzona po zaistniałych aktywizacjach zagrożenia, nawet ubranie robocze może w niektórych przypadkach stanowić ochronę osobistą [12], biorąc pod uwagę krótkotrwałość płomienia.14)
-Przed działaniem gazów szkodliwych dla zdrowia chronią pochłaniacz ochronny górniczy typu POG-4K lub tlenowy aparat izolujący ucieczkowy typu AU-9 [140].

Jeśli nastąpiła aktywizacja zagrożenia AZ, to przedtem musiał pojawić się zbiór zdarzeń $\mathbb{X}$.

$$AZ \Rightarrow \mathbb{X} \equiv \{(AZ_w \vee Za_{PP4}) \vee AZ_p\}, \tag{7.15}$$

gdzie $AZ_w$ - wybuch obłoków wtórnych,
$AZ_p$ - wybuch obłoku pierwotnego,
$Za_{PP4}$ - możliwy deficyt bezpieczeństwa w zakresie paramatrów pożądanych dotyczącycyh czwartej linii obrony przed wybuchem pyłu węglowego, tj. zapór pomocniczych i głównych stosowanych w celu ograniczenia zasięgu rozwijającego się wybuchu pyłowego [16,42, 44].

Zapory przeciwwybuchowe ($PP_4$) stwarzają uwarunkowanie regresywne zmniejszające zasięg aktywizacji zagrożenia.

$PP_4$ -"W pokładach zaliczonych do klasy B zagrożenia wybuchem pyłu węglowego powinny być stosowane zapory przeciwwybuchowe pyłowe lub wodne, których zasady budowy i stosowania określają oddzielne wytyczne" [81,132a]. 11) 15) 16)

Jeśli nastąpiła aktywizacja zagrożenia $AZ_w$, to przedtem musiał się poja wić zbiór zdarzeń $\mathbb{T}$.

$$AZ_w \Rightarrow \mathbb{T} \equiv \{tk \wedge RZ_w\}, \tag{7.16}$$

14) MGiE Zarządzenie nr 7 z 1.3.1985 w sprawie tabel norm przydziału ochron osobistych, odzieży i obuwia roboczego w resorcie górnictwa i energetyki. Warszawa 1985.
15) Wytyczne budowy i stosowania zapor przeciwwybuchowych (WUG 1990).
16) MGiE Departament Górniczy. Wytyczne w sprawie typów zapór przeciwwybuchowych pyłowych i wodnych oraz zasad budowy poszczególnych typów zapór. Katowice 1974.

gdzie tk - płomień wybuchu obłoku pierwotnego, którego energia jest zazwyczaj wystarczająca do zapalenia obłoków wtórnych,

$RZ_w$ - obłoki wtórne.

Jeśli pojawiły się obłoki wtórne $RZ_w$, to przedtem musiał się pojawić zbiór zdarzeń N.

$$RZ_w \Rightarrow N \equiv \{nk \wedge (ns \vee Za_{FPZ3})\}, \qquad (7.17)$$

gdzie nk - podmuch spowodowany wybuchem obłoku pierwotnego,

ns - nie kontrolowany osad wybuchowego pyłu węglowego (udział części lotnych $V^b$>10%) w miejscach możliwego przeniesienia już zainicjowanego wybuchu pyłu węglowego, charakteryzujący się takimi parametrami, jak: udział części lotnych, udział stałych części niepalnych $A_i$[%], wilgotność $W_i$[%], rozdrobnienie d25[%], wymieszanie, warunki dyspersji, warstwa czystego pyłu węglowego osiadłego na warstwie pyłu kamiennego [70,85,133b,133c],

$Za_{FPZ3}$ - możliwy deficyt bezpieczeństwa w zakresie trzeciej linii obrony przed wybuchem pyłu węglowego, tj. w zakresie spełnienia kryterium bezpieczeństwa strefy zabezpieczającej przed przeniesieniem już zainicjowanego wybuchu pyłu węglowego [33,84,97].

Strefy zabezpieczające ($PT_3$) stwarzają uwarunkowanie regresywne, uniemożliwiające utworzenie obłoków wtórnych ($RZ_w$), co w konsekwencji neguje przeniesienie już zainicjowanego wybuchu pyłu węglowego ($AZ_w$).

$FPZ_3$ -Formalny próg zagrożenia dotyczący dwustumetrowej strefy zabezpieczającej przed przeniesieniem już zainicjowanego wybuchu pyłu węglowego stanowi równoczesne spełnienie dwóch kryteriów jej trwałości:

I - zawartość części niepalnych w mieszaninie pyłu węglowego z pyłem kamiennym w strefie zabezpieczającej powinna wynosić co najmniej:
70% - w polach niemetanowych,
80% - w polach metanowych,

II- masa warstwy drobnego pyłu węglowego osiadłego od ostatniego opylenia na warstwie pyłu kamiennego odniesiona do jednostki objętości wyrobiska nie może przekroczyć 30 [$g/m^3$]. 11) 17) 18) 19) 20)

Jeśli jednocześnie miały miejsce zdarzenia: płomień tk mogący zapalić wtórny obłok pyłowy oraz podmuch nk unoszący obłoki wtórne, to przedtem musiał nastąpić wybuch obłoku pierwotnego $AZ_p$, a jeszcze wcześniej musiał się pojawić zbiór zdarzeń $\mathbb{L}$.

$$tk \wedge nk \Rightarrow AZ_p \Rightarrow \mathbb{L} \equiv \{lk \wedge RZ_p\}, \tag{7.18}$$

gdzie lk - płomień o energii oraz temperaturze koniecznej do inicjacji wybuchu pyłu węglowego (>200[mJ], >500 do 600 [°C] dla węgli górnośląskich),

$RZ_p$ - obłok pierwotny pyłu węglowego (45 do 1000[g/m$^3$] dla węgli górnośląskich, w przeliczeniu na czystą substancję węglową).

Jeśli wystąpił obłok6pierwotny $RZ_p$, to przedtem musiał się pojawić zbiór zdarzeń $\mathbb{K}$.

$$RZ_p \Rightarrow \mathbb{K} \equiv \{kk \wedge (ks \vee Za_{PP2})\}, \tag{7.19}$$

gdzie kk - podmuch wystarczający do uniesienia obłoku pierwotnego,

ks - nie kontrolowany osad wybuchowego pyłu węglowego w miejscach możliwej inicjacji wybuchu pyłu węglowego (analogicznie do ns, wzór 7.17),

$Za_{PP2}$ -możliwy deficyt bezpieczeństwa w zakresie drugiej linii obrony przed wybuchem pyłu węglowego.

---

17) MGIE GIG.Dokumentacja pracy badawczo-rozwojowej.System zabezpieczeń oddziału przed przeniesieniem wybuchu pyłu węglowego (projekt typowy) Katowice 1983.

18) "Kryteria zagrożenia wybuchem pyłu węglowego w podziemnych zakładach górniczych".Zarządzenie Prezesa WUG z dnia 29.01.1970 (M.P.nr 5,poz.51).

19) Normy branżowe. Zabezpieczenie przeciwpyłowe kopalni.Zabezpieczenie kopalń przed wybuchem pyłu węglowego.
- BN-89/0426-02 Oznaczenie intensywności osiadania pyłu węglowego,
- BN-89/0426-03 Oznaczenie zawartości części niepalnych w pyle kopalnianym.

20) Wytyczne zwalczania pyłu w wyrobiskach i pomieszczeniach w polach metanowych kopalni węgla kamiennego przy poszczególnych stopniach zagrożenia wybuchem. WUG Katowice 1989.

Strefy zabezpieczające ($PP_2$) stwarzają warunki regresywne dla niepożądanego utworzenia się obłoku pierwotnego ($RZ_p$), co w konsekwencji uniemożliwia inicjację wybuchu pyłu węglowego. Wymienione parametry pożądane ($PP_2$) stanowią jedynie poziom bezpieczeństwa w zakresie profilaktyki technicznej zorientowanej na osad pyłowy [44,79]. Oddzielną część drugiej linii obrony stanowi profilaktyka techniczna zorientowana na płomień [44,79].

**$PP_2$-Przepisy szczegółowo określają miejsca możliwego zainicjowania wybuchu pyłu węglowego, które należy zabezpieczyć przez opylenie lub zmywanie, przykładowo:**
**"W przodkach i strefach przyprzodkowych drążonych wyrobisk korytarzowych, w których występuje niebezpieczny pył węglowy, należy stosować zmywanie wodą pyłu węglowego. W wyrobiskach korytarzowych, w których wykonywane są roboty strzałowe, można zamiast zmywania wodą pyłu węglowego stosować zraszanie wodą. W określonych przypadkach wolno stosować opylanie pyłem kamiennym."**
8) 11) 20) 21)

Wskutek wybuchu metanu i podczas prowadzonej roboty strzałowej, nie przebiegającej zgodnie z obowiązującymi przepisami BHP, warunek jednoczesności występowania płomienia i podmuchu zdolnego do uniesienia obłoku pierwotnego jest prawie zawsze spełniony, podczas gdy przy innych możliwych inicjałach wybuchu pyłu węglowego decydujące znaczenie ma równoczesność zajścia wymienionych zdarzeń, gdyż płomień i obłok pierwotny spowodowane są wówczas odmiennymi czynnikami.

Jeśli jednocześnie w określonym miejscu wyrobiska pojawił się płomień lk i miał miejsce podmuch kk, to przedtem musiał pojawić się zbiór zdarzeń J.

$$lk \wedge kk \Rightarrow J \equiv \{[jq_{1:9} \vee Za_{PT}] \vee jq_{10}\}, \qquad (7.20)$$

gdzie $jq_{1:10}$ - przykładowe makrozdarzenia oznaczające określony proces lub procesy zachodzące w środowisku pracy w warunkach normalnych lub awaryjnych. Możliwe inicjały wybuchu pyłu węglowego ze strony parametrów środowiska pracy są następujące:

$jq_1$ - wysyp lub przesyp urobku (w warunkach normalnych lub awaryjnych),

$jq_2$ - strumień powietrza w pobliżu okna wentylacyjnego (w warunkach normalnych),

$jq_3$ - robota strzałowa (w warunkach normalnych),

$jq_4$ - zaiskrzenie powstałe w wyniku pracy urządzenia mechanicznego lub elektrycznego (w warunkach normalnych),

$jq_5$ - roboty spawalnicze (w warunkach normalnych),

$jq_6$ - wybuch metanu lub gazów pożarowych (w warunkach awaryjnych),

$jq_7$ - łuk elektryczny, zaiskrzenie lub inny płomień powstały podczas uszkodzenia urządzenia elektrycznego (w warunkach awaryjnych),

$jq_8$ - ognisko pożarowe; trwający w ZG pożar egzo- lub endogeniczny (w warunkach awaryjnych),

$jq_9$ - nie kontrolowane zbliżenie się do urządzenia elektrycznego znajdującego się pod napięciem, wskutek czego może nastąpić wyładowanie iskrowe (w warunkach normalnych).

Przykład inicjału ze strony czynnika ludzkiego:

$jq_{10}$ - palenie papierosów,

$Za_{PT}$ - możliwy deficyt bezpieczeństwa w zakresie profilaktyki technicznej zorientowanej na płomień i podmuch. Jest to część drugiej linii obrony przed wybuchem pyłu węglowego, dotycząca zwłaszcza zwalczania możliwości ukazania się płomienia w środowisku pracy w warunkach normalnych i awaryjnych [44,79].

Świadomie zrezygnowano w tym miejscu z analizy możliwych deficytów bezpieczeństwa $Za_{PT}$ ze względu na ich znaczną liczbę i związek z innymi niż rozpatrywane zagrożenie wybuchem pyłu węglowego. Przykłady pominiętych zagrożeń: wybuch metanu lub gazów pożarowych, roboty strzałowe i spawalnicze, ruch maszyn i urządzeń pracujących pod napięciem elektrycznym itd. [79, 87,132,132a,133].

Jeśli załoga przebywała w zasięgu skutków wybuchu obłoku pierwotnego lub/i obłoków wtórnych ys przy możliwym sprawstwie progresywnym w zakresie ochron osobistych lub/i miało miejsce podane przykładowo zdarzenie quasi-statyczne $jq_{10}$, to przedtem musiał się pojawić zbiór zdarzeń H.

---

21) Zasady stosowania urządzeń elektrycznych budowy zwykłej w wyrobiskach podziemnych zagrożonych wybuchem pyłu węglowego w zależności od posiadanego stopnia ochrony. WUG Katowice 1992.

$$ys \vee jq_{10} \Rightarrow \mathbb{H} \equiv \{hq \vee Sa_{Dz}\}, \qquad (7.21)$$

gdzie hq - czynności załogi, wykonywane najczęściej w związku z pracą,

$Sa_{Dz}$ - sprawstwo progresywne w zakresie samokontroli.

Podjęte decyzje pożądane (DP) stanowią sprawstwo regresywne ($\overline{Sa}_{Dz}$), stwarzające warunki nie sprzyjające dla niepożądanych czynności hq.

> $\overline{Sa}_{Dz}$ -"Każda osoba zatrudniona w ruchu powinna ściśle przestrzegać ustalonego dla niej zakresu czynności. 11)
> "W podziemnych wyrobiskach zabrania się używania otwartego ognia, palenia tytoniu ...". 8)

Jeśli występuje nie kontrolowane zapylenie wyrobisk ks lub/i ns przy możliwym deficycie bezpieczeństwa $Za_{PP2,4} \vee Za_{FPZ3}$, to przedtem musiał się pojawić zbiór zdarzeń $\mathbb{G}$.

$$(ks \vee Za_{PP2}) \vee (ns \vee Za_{FPZ3} \vee Za_{PP4}) \Rightarrow \mathbb{G} \equiv \{(gk \vee Za_{PT2:4} \vee Sa_{Ko} \vee Sa_{K2:4})\}, \qquad (7.22)$$

gdzie gk - opad $[g/m^3.d]$ (masa sedymentującego pyłu w przeliczeniu na jednostkę objętości wyrobiska i na dobę).

$Za_{PT2:4}$ - możliwy deficyt w zakresie stosowania i utrzymywania 2, 3 i 4 linii obrony przed wybuchem pyłu węglowego, który warunkuje deficyty $Za_{PP2,4} \vee Za_{FPZ3}$.

Profilaktykę techniczną w zakresie zagrożenia pyłowego można podzielić na 4 odrębne linie obrony [44,81], w zależności od miejsca jej zastosowania w analizowanym następstwie zdarzeń ($PT_{1:4}$).

Linie obrony przed wybuchem pyłu węglowego $PT_{2:4}$ stwarzają warunki regresywne dla opadu gk, stanowiącego warunek konieczny dla nie kontrolowanych osadów pyłowych ks i ns.

$PT_2$ - Zmywanie wodą pyłu węglowego w wyrobiskach korytarzowych należy wykonywać w przodku i w strefie przyprzodkowej o długości co najmniej 10 [m]:
- przed rozpoczęciem pracy na zmianie,
- w czasie pracy, gdy wystąpi osad pyłu węglowego,
- przed rozpoczęciem wykonywania robót strzałowych.

Zraszanie powinno być stosowane w strefie 20 [m] przy wydajności dysz 30 [$dm^3/m^2/min$] na 30 [s] przed odpaleniem otworów strzałowych.

Zużycie pyłu kamiennego powinno wynosić:
- 2 [kg] na każdy otwór strzałowy w polach niemetanowych,
- 3 [kg] na każdy otwów strzałowy w polach metanowych,
- 5 [kg] przy pojedynczo odpalanych otworach. 11)

$PT_3$ - Dwustumetrowe strefy zabezpieczające tworzy się od wszystkich miejsc możliwej inicjacji wybuchu pyłu węglowego przez:
- mechaniczne lub ręczne opylanie pyłem kamiennym na całym obwodzie zabezpieczanego wyrobiska,
- zmywanie wodą wyrobiska na całym jego obwodzie łącznie z obudową. 11)

$PT_4$ - Zapory pomocnicze buduje się w odległości 60 do 200 [m] od miejsc możliwej inicjacji wybuchu pyłu węglowego. Masa czynnika gaszącego na zaporze powinna wynosić:
- 200 [$kg/m^2$] w przekroju wyrobiska, w którym jest ustawiona w polach niemetanowych,
- 400 [$kg/m^2$] w przekroju wyrobiska, w którym jest ustawiona w polach metanowych. 11)

- Zapory główne zabezpieczają rejony wentylacyjne.

$Sa_{K_o} \vee Sa_{K2:4}$ -możliwe sprawstwo progresywne w zakresie kontroli pomiarowej opadu $K_o$ i kontroli zabezpieczeń $K_{2:4}$, które może warunkować deficyty $Za_{PP2,4} \vee Za_{FPZ3}$ [84,97,145].

Pomiary udziału części niepalnych oraz warstwy osiadłego pyłu węglowego ($K_o$), których częstotliwość zależy od opadu, stanowią sprawstwo regresywne, ($\overline{Sa_{K_o}}$), stwarzające warunki nie sprzyjające dla nie pożądanego opadu, stanowiącego z kolei warunek konieczny dla nie kontrolowanych osadów pyłowych ks i ns w wyrobiskach górniczych.

$\overline{Sa}_{Ko}$ -Pomiar udziału części niepalnych stałych w zapyleniu strefy zabezpieczającej, wykonany metodą pasową lub przyrządem Inflabar, opracowanym w KD Barbara, pozwala określić spełnienie I kryterium trwałości strefy zabezpieczjącej.
-Pomiar intensywności opadu pyłu węglowego w strefie zabezpieczającej oraz w strefie przyprzodkowej wykonany metodą płytkową stanowi podstawę do określenia spełnienia kryterium II trwałości strefy zabezpieczającej. 17) 19)

Prowadzona przez załogę kontrola zabezpieczeń przed wybuchem pyłu węglowego ($K_{2:4}$) stanowi sprawstwo regresywne $\overline{Sa}_{K2:4}$, stwarzające warunki nie sprzyjające dla niepożądanego opadu, stanowiącego warunek konieczny dla nie kontrolowanych osadów pyłowych ks i ns w wyrobiskach górniczych.

$\overline{Sa}_{K2:4}$ -"Należy systematycznie kontrolować skuteczność stosowanych w zakładzie górniczym środków ochrony przed niebezpieczeństwem wybuchu pyłu węglowego. 8) 11)

Jeśli załoga wykonuje czynności hq, przy możliwym sprawstwie progresywnym w zakresie $Sa_{Dz}$ lub/i wywiera określony wpływ na opad (gk), przy możliwym sprawstwie progresywnym $Sa_{Ko}$ lub/i $Sa_{K2:4}$, to przedtem musiał się pojawić zbiór zdarzeń $\mathbb{F}$.

$$[hq \vee Sa_{Dz}] \vee [(gk) \vee Sa_{Ko} \vee Sa_{K2:4}] \Rightarrow \mathbb{F} \equiv \{fq \vee Sa_{Kz} \vee Sa_{KOz} \vee Sa_{Dd}\}, \qquad (7.23)$$

gdzie oznaczenia są takie same jak we wzorze (7.6).

Sprawstwa regresywne ($\overline{Sa}_{Kz} \wedge \overline{Sa}_{KOz} \wedge \overline{Sa}_{Dd}$) stwarzają warunki nie sprzyjające dla niepożądanego prowadzenia robót górniczych przez załogę.

$\overline{Sa}_{Kz}$ -Kontrola załogi przez dozór, w zakresie działania zgodnego z obowiązującymi przepisami BHP, zwłaszcza w zakresie przeprowadzania systematycznych pomiarów opadu pyłu węglowego, udziału stałych części niepalnych w zapyleniu wyrobiska oraz w zakresie 2,3 i 4 linii obrony przed wybuchem pyłu węglowego. 8) 11) 19)

$\overline{Sa}_{KOz}$ -Kształtowanie osobowości załogi przez dozór w zakresie działania zgodnego z obowiązującymi przepisami BHP, zwłaszcza w zakresie przepisanych pomiarów i utrzymania linii obrony przed wybuchem pyłu węglowego przez osobisty kontakt oraz szkolenie, odbywające się w w centralnych ośrodkach szkoleniowych górnictwa. 9)

$Sa_{Dd}$ - Decyzje pożądane dozoru podejmowane w zakresie nakazanych poziomów $PB_{1:j}$, dotyczących zagrożenia wybuchowymi pyłami węglowymi. 11)

Jeśli ma miejsce opad gk, to przedtem musiał się pojawić zbiór zdarzeń $\mathbb{E}$.

$$gk \Rightarrow \mathbb{E} \equiv \{eq \vee Za_{PTw} \vee Za_{PT1}\}. \qquad (7.24)$$

Oznaczenia dla wzoru (7.24) są analogiczne do wzoru (7.7).

Wentylacja ($PT_w$) przy określonych parametrach przepływu stanowi uwarunkowanie regresywne, nie sprzyjające niepożądanemu opadowi gk [56,107,150,151, 154].

$PT_w$ -Wentylacja. Istotnymi parametrani determinującymi opad są prędkość i równomierność strumienia wentylacyjnego [136]

Jeśli odbywają się procesy $jq_{1:9}$, mogące spowodować pojawienie się w środowisku pracy płomienia lub/i podmuchu, przy możliwym deficycie bezpieczeństwa $Za_{PT}$ lub/i występuje określony strumień pyłu węglowego eq, emitowany do strumienia wentylacyjnego, przy możliwym deficycie bezpieczeństwa w zakresie $Za_{PT1:4}$, to przedtem musiał się pojawić zbiór zdarzeń $\mathbb{D}$.

$$(jq_{1:1} \vee Za_{PT}) \vee (eq \vee Za_{PT1:4}) \Rightarrow \mathbb{D} \equiv \{[dq \vee Za_{PTrg} \vee Sa_{PT1:4} \vee Sa_{PT} \vee Sa_{Krg})]\}, \qquad (7.25)$$

gdzie $Sa_{PT1:4}$ - możliwe sprawstwo progresywne w zakresie nakazanej profilaktyki technicznej, z którego mogą wynikać deficyty $Z_{PT1:4}$,

$Sa_{PT}$ - możliwe sprawstwo progresywne, z którego może wynikać deficyt $Za_{PT}$.

Pozostałe oznaczenia są analogiczne do wzoru (7.8).

Sprawstwa regresywne $\overline{Sa}_{PT1:4} \wedge \overline{Sa}_{PT}$ stwarzają w środowisku pracy warunki nie sprzyjające dla niepożądanego przebiegu robót górniczych dq.

$\overline{Sa}_{PT2:4}$ - **"W pokładach węgla zaliczonych do zagrożonych wybuchem pyłu węglowego należy dla ochrony przed niebezpieczeństwem wybuchu oraz przed niebezpieczeństwem przenoszenia się wybuchu stosować opylanie wyrobisk za pomocą pyłu kamiennego, zraszanie wodą, zapory pyłowe lub wodne, albo inne skuteczne środki ochrony".** 8) 11)

$PT_{rg} \vee \overline{Sa}_{PT1} \vee \overline{Sa}_{Krg}$ - **Objaśnienia takie jak przy wzorze (7.8)**

Jeśli są prowadzone roboty górnicze przez załogę fq przy możliwym sprawstwie w zakresie $Sa_{Kz} \vee Sa_{KOz} \vee Sa_{Dd}$ lub/i występuje określony wpływ dozoru na roboty górnicze (dq) przy możliwym sprawstwie w zakresie $Sa_{Krg} \vee Sa_{PT1:4} \vee Sa_{PT}$, to przedtem musiał się pojawić zbiór zdarzeń $\mathbb{C}$.

$$[fq \vee Sa_{Kz} \vee Sa_{KOz} \vee Sa_{Dd}] \vee [(dq) \vee Sa_{PT} \vee Sa_{PT1:4} \vee Sa_{Krg}] \Rightarrow$$

$$\Rightarrow \mathbb{C} \equiv \{cq \vee Sa_{Kd} \vee Sa_{KOd} \vee Sa_{Dk}\}. \qquad (7.26)$$

Oznaczenia dla wzoru (7.26) są analogiczne do wzoru (7.9).

Jeśli odbywają się roboty górnicze dq przy możliwym deficycie $Za_{PTrg} \vee Za_{PTw}$, to przedtem musiał się pojawić zbiór zdarzeń $\mathbb{B}$

$$dq \vee Za_{PTrg} \vee Za_{PTw} \Rightarrow \mathbb{B} \equiv \{bq \vee Sa_{PTrg} \vee Sa_{PTw} \vee Sa_{Kr}\}. \qquad (7.27)$$

Oznaczenia i uwagi dla wzoru (7.27) analogiczne do wzoru (7.10).

Jeśli są prowadzone roboty górnicze przez dozór cq przy możliwym sprawstwie progresywnym w zakresie $Sa_{Kd} \vee Sa_{KOd} \vee Sa_{OO} \vee Sa_{P} \vee Sa_{R} \vee Sa_{Dk}$ lub/i występuje określony wpływ kierownictwa na ruch ZG (bq) przy możliwym sprawstwie progresywnym w zakresie $Sa_{PTr} \vee Sa_{PTw} \vee Sa_{Kr}$, to przedtem musiał się pojawić zbiór zdarzeń $\mathbb{A}$.

$$[cq_{\vee}Sa_{Kd}\vee Sa_{KOd}\vee Sa_{OO}\vee Sa_{P}\vee Sa_{R}\vee Sa_{Dk}]\vee[(bq)\vee Sa_{PTr_{\eta}}\vee Sa_{PTw}\vee Sa_{Kr}] \Rightarrow$$

$$\Rightarrow A \equiv \{aq_{\vee}Sa_{Kk}\vee Sa_{KOk}\vee Sa_{Dw}\}. \qquad (7.28)$$

Oznaczenia i uwagi we wzorze (7.28) są analogiczne do wzoru (7.11).

Postępując podobnie jak przy analizie zagrożenia pyłami respirabilnymi (wzór 7.12 oraz rys.7.1), określono na podstawie wzorów (7.13) do (7.28) szczegółową zależność opisującą półdeterministyczny łańcuch zdarzeń, który poprzedza wypadki związane z wybuchem pyłu węglowego.

W celu uzyskania większej przejrzystości, zachodzące zdarzenia pogrupowano w makrozdarzeniach $O_{6:1}$, które reprezentują różne stany i procesy zachodzące w środowisku pracy (podobnie jak w pkt.7.1).

$$W \Rightarrow L_w \equiv \left\{ O_6 \equiv \left\{ \mathbb{Z} \equiv \left\{ \left( ZW_{\vee}Sa_{R:P} \right) \wedge ZU \right\} \right\} \Rightarrow \right.$$

$$\Rightarrow O_5 \equiv \left\{ Y \equiv \left\{ AZ \left[ \Rightarrow X \equiv \left\{ \left[ AZ_w \left( \Rightarrow T \equiv \left\{ tk \wedge RZ_w \left( \Rightarrow N \equiv \{ nk \wedge [ns_{\vee}Za_{FPZ3}] \} \right) \right\} \right) \right] \vee Za_{PP4} \right] \vee \right. \right. \right.$$
(1 2 3 3)

$$\left. \left. \left. \vee \left[ AZ_P \left( \Rightarrow L \equiv \left\{ lk \wedge RZ_P \left( \Rightarrow K \equiv \{ kk \wedge [ks_{\vee}Za_{PP2}] \} \right) \right\} \right) \right] \right\} \right| \wedge \left[ ys \left( \Rightarrow H \equiv \{ hq_{\vee}Sa_{Dz} \} \right) \vee Sa_{OO} \right] \right\} \right| \Rightarrow$$
(4 4 2 1)

$$\Rightarrow O_4 \equiv \left\{ J \equiv \left\{ [jq_{1:9}\vee Za_{PT}] \vee jq_{10} \left( \Rightarrow H \equiv \{ hq_{\vee}Sa_{Dz} \} \right) \right\} \right\} \Rightarrow$$

$$\Rightarrow O_3 \equiv \left\{ \left[ G \equiv \left\{ gk \left( \Rightarrow E \equiv \{ eq_{\vee}Za_{PT1:PTw} \} \right) \vee Za_{PT2:4} \vee Sa_{Ko} \vee Sa_{K2:4} \right\} \right] \wedge \right.$$

$$\left. \wedge \left[ F \equiv \left\{ fq_{\vee}Sa_{Kz:KOz:Dd} \right\} \right] \right\} \Rightarrow$$

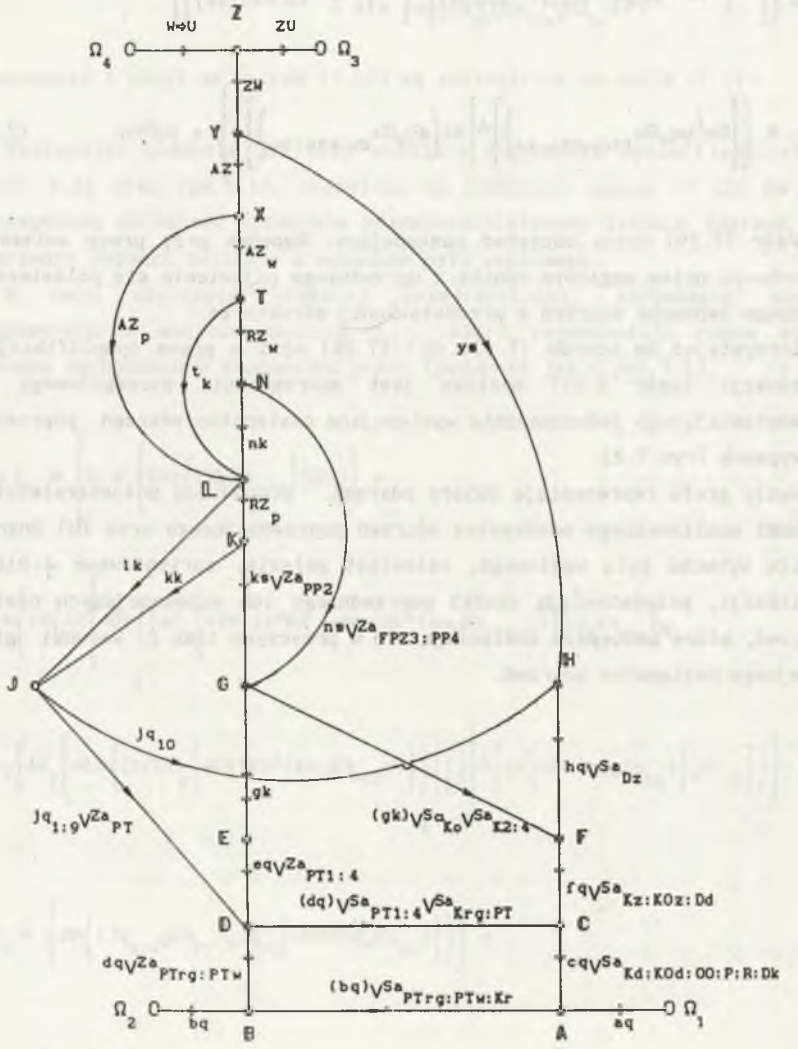
$$\Rightarrow \mathbb{O}_2 \equiv \left\{\left[\mathbb{D} \equiv \left\{dq \vee Za_{PTrg} \vee Sa_{PT1:4} \vee Sa_{Krg:PT}\right\}\right] \wedge \left[\mathbb{C} \equiv \left\{cq \vee Sa_{Kd:KOd:Dk}\right\}\right]\right\} \Rightarrow$$

$$\Rightarrow \mathbb{O}_1 \equiv \left\{\left[\mathbb{B} \equiv \left\{bq \vee Sa_{PTrg:PTw:Kr}\right\}\right] \wedge \left[\mathbb{A} \equiv \left\{aq \vee Sa_{Kk:KOk:Dw}\right\}\right]\right\} \Rightarrow aq \wedge bq. \qquad (7.29)$$

Wzór (7.29) można odczytać następująco: Wypadek przy pracy związany z wybuchowym pyłem węglowym wynika z uprzedniego pojawienia się półdeterministycznego łańcucha zdarzeń o przedstawionej strukturze.

Korzystając ze wzorów (7.13) do (7.28) oraz z prawa symplifikacji dla koniunkcji (wzór 3.21) możliwe jest sporządzenie szczegółowego grafu przedstawiającego jednoznacznie występujące następstwo zdarzeń poprzedzające wypadek (rys.7.2).

Węzły grafu reprezentują zbiory zdarzeń, stanowiące półdeterministyczne warunki analizowanego następstwa zdarzeń poprzedzającego uraz (U) doznany w wyniku wybuchu pyłu węglowego, natomiast gałęzie, zorientowane w kierunku implikacji, przedstawiają skutki poprzedniego lub wcześniejszych następstw zdarzeń, które następnie zamieniają się w przyczynę (lub i warunki główne) kolejnego następstwa zdarzeń.




Rys. 7.2. Następstwo zdarzeń poprzedzające wypadek związany z wybuchem pyłu węglowego

Fig. 7.2. The event sequence forgoing an accident in the range of explosive coal dust

## 7.3. PRZEDSTAWIENIE GLOBALNE ZAGROŻENIA PYŁOWEGO

Ze względu na analogię zachodzącą pomiędzy modelami zagrożenia chorobowego i wypadkowego istnieje możliwość utworzenia wspólnego łańcucha zdarzeń dla zagrożenia pyłowego, poprzedzającego analizowaną szkodliwość $Ch_V W$.

Postępując podobnie jak we wzorze (5.27), korzystając z ogólnego prawa kompozycji dla alternatywy (wzór 3.22), otrzymuje się model globalnego zagrożenia pyłowego występującego w górnictwie węgla kamiennego.

$$\left[\left(Ch \Rightarrow \mathcal{L}_{ch}\right) \wedge \left(W \Rightarrow \mathcal{L}_{w}\right)\right] \Rightarrow \left[\left(Ch \vee W\right) \Rightarrow \left(\mathcal{L} \equiv \mathcal{L}_{ch} \vee \mathcal{L}_{w}\right)\right]. \tag{7.30}$$

Bazując na wzorach (7.12) i (7.29) rozpisany wzór (7.30) przybiera następującą postać:

$$Ch_V W \Rightarrow \mathcal{L} \equiv \mathcal{L}_{ch} \vee \mathcal{L}_{w} \equiv \left\{ \mathbb{O}_6 \equiv \left\{ \mathbb{Z} \equiv \left\{ \left[ RZ_{ch} \vee ZW \vee Sa_{PM:\,R:\,P} \right] \wedge ZU \right\} \right\} \Rightarrow \right.$$

$$\Rightarrow \mathbb{O}_5 \equiv \left\{ \underset{1}{\mathbb{Y}} \equiv \left\{ \left[ AZ_{ch} \vee Za_{SPZ} \vee Sa_{KM} \right] \vee \left[ AZ \left( \Rightarrow \underset{2}{\mathbb{X}} \equiv \left\{ \left[ AZ_{w} \left( \Rightarrow \underset{3}{\mathbb{T}} \equiv \left\{ tk \wedge RZ_{w} \left( \Rightarrow \mathbb{N} \equiv \{ nk \wedge (ns \vee Za_{FPZ3}) \} \right) \right\} \right) \right] \vee \right. \right. \right. \right.$$

$$\left. \left. \left. \left. \vee Za_{PP4} \right] \vee \left[ AZ_{p} \left( \Rightarrow \underset{4}{\mathbb{L}} \equiv \left\{ lk \wedge RZ_{p} \left( \Rightarrow \mathbb{K} \equiv \{ kk \wedge [ks \vee Za_{PP2}] \} \right) \right\} \right) \right] \right] \right\} \right) \wedge \left[ ys \left( \Rightarrow \mathbb{H} \equiv \{ hq \vee Sa_{Dz} \} \right) \vee Sa_{OO} \right] \right] \right\} \right\} \Rightarrow$$

$$\Rightarrow \mathbb{O}_4 \equiv \left\{ \left[ \mathbb{I} \equiv \left\{ \left[ iq \vee Za_{NDS} \right] \wedge \left[ is \left( \Rightarrow \mathbb{H} \equiv \{ hq \vee Sa_{Dz} \} \right) \vee Sa_{OO:\,KSZ} \right] \right\} \right] \vee \right.$$

$$\left. \vee \left[ \mathbb{J} \equiv \left\{ \left( jq_{1:9} \vee Za_{PT} \right) \vee jq_{10} \left( \Rightarrow \mathbb{H} \equiv \{ hq \vee Sa_{Dz} \} \right) \right\} \right] \right\} \Rightarrow$$

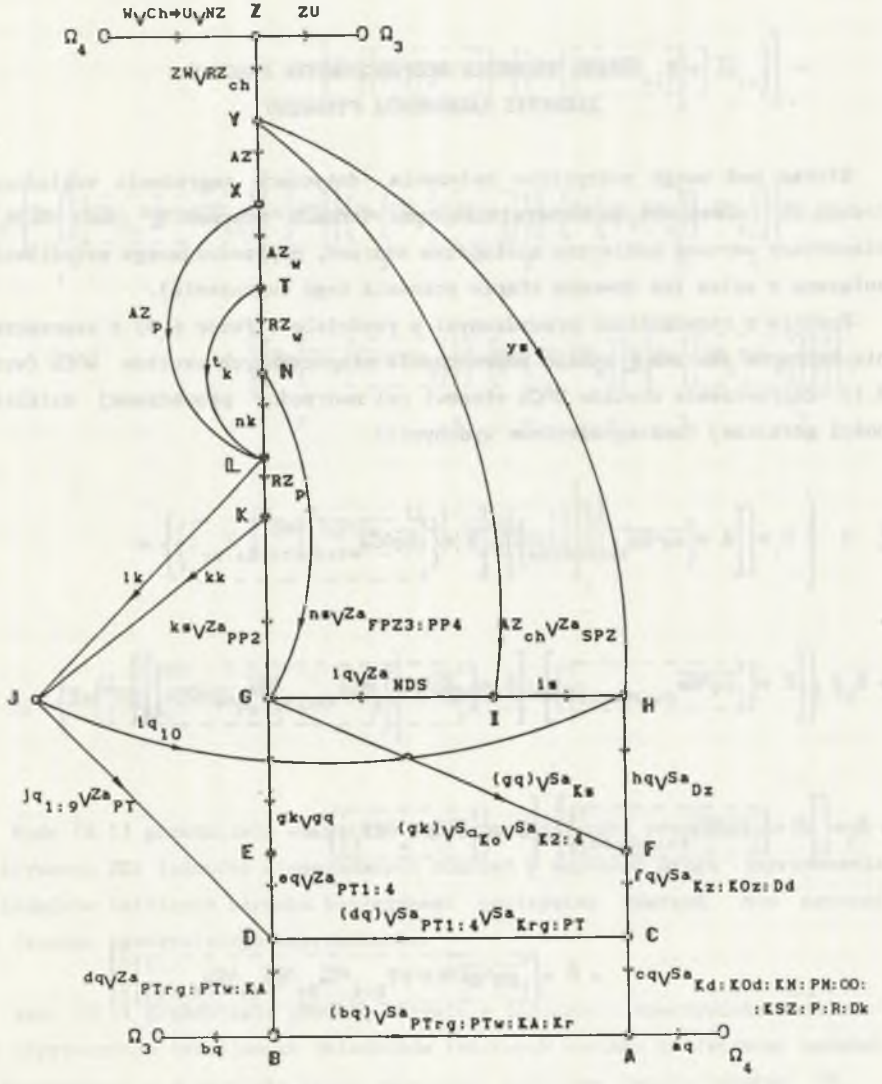
$$\Rightarrow \mathbb{O}_3 \equiv \left\{\left[\mathbb{G}\equiv\left\{[gk \vee gq]\left(\Rightarrow\mathbb{E}\equiv\{eq \vee Za_{PTw:PT1}\}\right) \vee Za_{KA} \vee Za_{PT2:4} \vee Sa_{Ks} \vee Sa_{Ko} \vee Sa_{K2:4}\right\}\right] \wedge \left[\mathbb{F}\equiv\left\{fq \vee Sa_{Kz:KOz:Dd}\right\}\right]\right\} \Rightarrow$$

$$\Rightarrow \mathbb{O}_2 \equiv \left\{\left[\mathbb{D}\equiv\left\{dq \vee Za_{PTrg} \vee Sa_{PT1:4} \vee Sa_{Krg:PT}\right\}\right] \wedge \left[\mathbb{C}\equiv\left\{cq \vee Sa_{Kd:KOd:Dk}\right\}\right]\right\} \Rightarrow$$

$$\Rightarrow \mathbb{O}_1 \equiv \left\{\left[\mathbb{B}\equiv\left\{bq \vee Sa_{PTrg:PTw:KA:Kr}\right\}\right] \wedge \left[\mathbb{A}\equiv\left\{aq \vee Sa_{Kk:KOk:Dw}\right\}\right]\right\} \Rightarrow aq \wedge bq. \qquad (7.31)$$

Łańcuch zdarzeń Ł posiada strukturę, którą można przedstawić w postaci grafu (analogicznie do wzorów 5.19 i 5.26). Graf reprezentuje globalne zagrożenie pyłowe w kopalni węgla kamiennego, określając jednoznacznie relacje zachodzące pomiędzy zdarzeniami nim dochodzi do szkodliwości (rys. 7.3).

Określenie wszystkich warunków koniecznych następstwa zdarzeń (na obecnym etapie poznania zagrożenia pyłowego - węzły grafu) oraz skutków pośrednich tak po stronie parametrów środowiska pracy, jak i czynnika ludzkiego (gałęzie grafu), które zamieniają się w składniki istotne kolejnego następstwa zdarzeń, umożliwia wnioskowanie w zakresie celowej techniki bezpieczeństwa pracy w górnictwie węgla kamiennego (rozdział 8).




Rys. 7.3. Następstwo zdarzeń poprzedzające szkodliwość związaną z pyłem

Fig. 7.3. The sequence of events preceding the harmfulness in dust hazard

## 8. CELOWA TECHNIKA BEZPIECZEŃSTWA PRACY W ZAKRESIE ZAGROŻENIA PYŁOWEGO

Biorąc pod uwagę poczynione założenia, dotyczące zagrożenia względnego (rozdz.6), określono półdeterministyczny łańcuch zdarzeń $\underline{L}$ (wzór 7.31), stanowiący warunek konieczny następstwa zdarzeń, poprzedzającego szkodliwość związaną z pyłem (na obecnym etapie poznania tego zagrożenia).

Zgodnie z rozważaniami prowadzonymi w rozdziale 6 (wzór 6.9) z zaprzeczenia łańcucha zdarzeń $\underline{L}$ wynika zaprzeczenie niepożądanych skutków $\overline{W \wedge Ch}$ (wzór 8.1). Zaprzeczenie skutków $W \wedge Ch$ stanowi cel nadrzędny prowadzonej działalności górniczej (bezzagrożeniowe wydobycie).

$$\underline{L} \equiv \left\{ \overline{O}_1 \equiv \left\{ \left[ \overline{A} \equiv \left\{ \overline{aq \wedge Sa}_{Kk:KOk:Dw} \right\} \right] \vee \left[ \overline{B} \equiv \left\{ \left[ \overline{bq \wedge Sa}_{PTrg:PTw:KA:Kr} \right] \right\} \right] \Rightarrow \right.$$

$$\Rightarrow \overline{O}_2 \equiv \left\{ \left[ \overline{C} \equiv \left\{ \left[ \overline{cq \wedge Sa}_{Kd:KOd:Dk} \right] \right\} \right] \vee \left[ \overline{D} \equiv \left\{ \left[ \overline{dq \wedge PT}_{rg} \wedge \overline{Sa}_{PT1:4} \wedge \overline{Sa}_{Krg:PT} \right] \right\} \right] \Rightarrow$$

$$\Rightarrow \overline{O}_3 \equiv \left\{ \left[ \overline{F} \equiv \left\{ \left[ \overline{fq \wedge Sa}_{Kz:KOz:Dd} \right] \right\} \right] \vee \left[ \overline{E} \equiv \left\{ \left[ \overline{eq \wedge PT}_{w} \wedge \overline{PT}_{1} \right] \right\} \Rightarrow \right.$$

$$\left. \left. \Rightarrow \overline{G} \equiv \left\{ \left[ \overline{gq \wedge gk \wedge KA \wedge PT}_{2:4} \wedge \overline{Sa}_{Ks} \wedge \overline{Sa}_{Ko} \wedge \overline{Sa}_{K2:4} \right] \right\} \right] \right\} \Rightarrow$$

$$\Rightarrow \overline{O}_4 \equiv \left\{\left[\overline{I}\equiv\left\{\left[\overline{iq}\wedge NDS\right]_1 \vee \left[\left(\overline{H}\equiv\left\{\left[\overline{hq}\wedge\overline{Sa}_{Dz}\right]_2\right\}\Rightarrow\right)\left[\overline{is}\wedge\overline{Sa}_{OO:KSZ}\right]_2\right]\right\}_1\right] \wedge$$

$$\wedge \left[\overline{J}\equiv\left\{\left[\overline{jq}_{1:9}\wedge PT\right]_3\right\}\wedge\left[\left(\overline{H}\equiv\left\{\left[\overline{hq}\wedge\overline{Sa}_{Dz}\right]_4\right\}\Rightarrow\right)\overline{jq}_{1o}\right]\right] \Rightarrow$$

$$\Rightarrow \overline{O}_5 \equiv \left\{\left[\overline{Y}\equiv\left\{\left[\left[\overline{AZ}_{ch}\wedge SPZ\wedge\overline{Sa}_{KM}\right]_1\right]\wedge\left[\overline{AZ}\left(\left[\left[\overline{K}\equiv\left\{\overline{kk}_V\left[\overline{ks}\wedge PP_2\right]_2\right\}\right]\Rightarrow\left[\overline{L}\equiv\left\{\overline{lk}_V\overline{RZ}_p\right\}_3\right]\right]\Rightarrow\overline{AZ}_p\right)_4\right]\right]\wedge\right.\right.$$

$$\left.\left.\wedge\left[\left[\overline{N}\equiv\left\{\overline{nk}_V\left[\overline{ns}\wedge FPZ_3\right]_5\right\}\right]\Rightarrow\left[\overline{T}\equiv\left\{\overline{tk}_V\overline{RZ}_w\right\}_6\right]\Rightarrow\left[\overline{X}\equiv\left\{\left[\overline{AZ}_w\wedge PP_4\right]_7\right\}_7\right]\right]\right]\vee\right.$$

$$\left.\vee\left[\left(\overline{H}\equiv\left\{\left[\overline{hq}\wedge\overline{Sa}_{Dz}\right]_1\right\}\Rightarrow\right)\left[\overline{ys}\wedge\overline{Sa}_{OO}\right]_1\right]\right\}\Rightarrow$$

$$\Rightarrow \overline{O}_6 \equiv \left\{\overline{Z}\equiv\left\{\left[\overline{RZ}_{ch}\wedge\overline{ZW}\wedge\overline{Sa}_{PM:R:P}\right]_1 \vee \overline{ZU}\right\}_1\right\} \Rightarrow \overline{NZ}\wedge\overline{ZW} \Rightarrow \overline{Ch}\wedge\overline{W} \qquad (8.1)$$

Wzór (8.1) przedstawia wszystkie logiczne możliwości przerwania (w rozpatrywanym ZG) łańcucha niepożądanych zdarzeń $\overline{L}$ uzyskane drogą zaprzeczenia składników istotnych warunku koniecznego następstwa zdarzeń. Nie oznacza to jeszcze rzeczywistego zaprzeczenia.

Wzór (8.1) przedstawia ponadto wszystkie logiczne i rzeczywiste możliwości zaprzeczenia określonych składników istotnych warunku koniecznego wskutek utrzymywanych w środowisku pracy nakazanych poziomów bezpieczeństwa $PB_{1:j}$,

które stwarzaja warunki regresywne dla niepożądanego następstwa zdarzeń (ujęto w ramki przerywane).

Na podstawie wzoru (8.1) oraz analogicznie do rozważań prowadzonych w rozdziale 5 (wzory 5.19 i 5.26) można sporządzić graf celowej techniki bezpieczeństwa pracy stosowanej w górnictwie węgla kamiennego w zakresie zagrożenia pyłowego, który pokazano na rys.8.1. (graf odwrócony grafu przedstawionego na rys.7.3).

Analiza grafu pozwala stwierdzić, że:

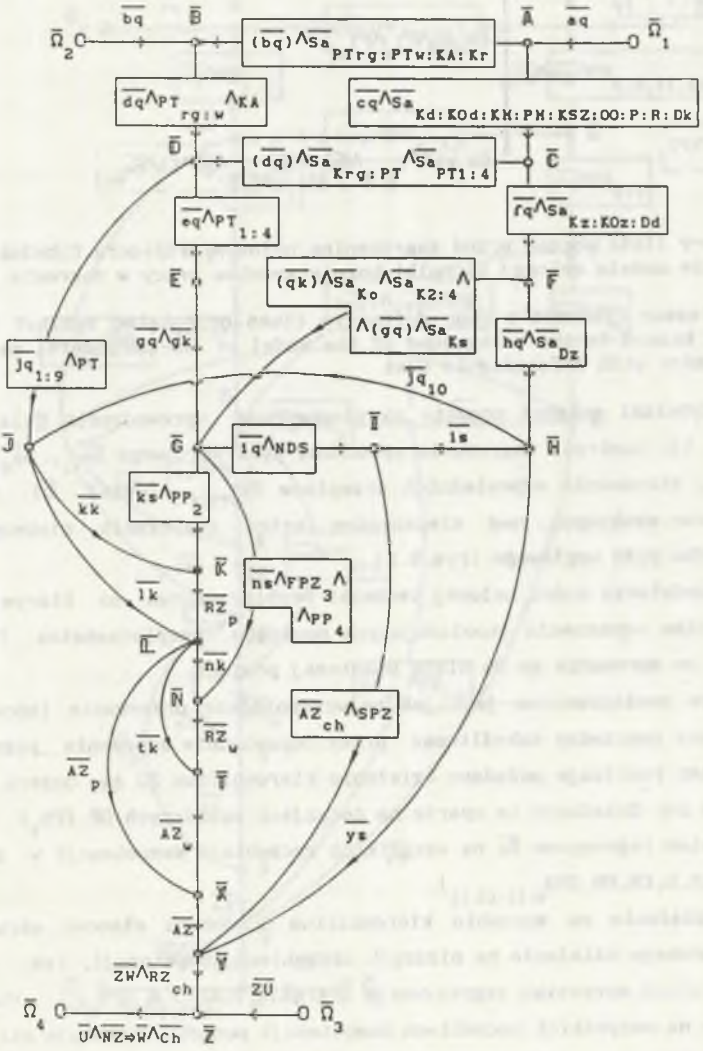
- skutki pośrednie następstwa zdarzeń, stanowiące składniki istotne warunku koniecznego zachodzące przy utrzymywanych poziomach bezpieczeństwa (ujęto w ramki) przedstawia ą 13 zdarzeń pożądanych stwarzających warunki regresywne dla niepożądanego następstwa zdarzeń (niektore gałęzie grafu rys.8.1),
- zachodzące zdarzenia pożądane stanowią realizację celów pośrednich prowadzących do celu nadrzędnego, gdyż umożliwiają przerwanie losowego łańcucha zdarzeń w jego ogniwach (rozpatrywane węzły wewnętrzne grafu) przez zaprzeczenie warunku koniecznego, zanim skutki pośrednie zamienią się w przyczyny (lub i warunki główne) kolejnego lub przyszłego następstwa zdarzeń (ujęto w ramki przerywane) (wzór 8.1).

Uwzględniając powagę zagrożenia pyłowego celowa technika bezpieczeństwa pracy stosowana w tym zakresie musi być kompleksowa. Wynika to z grafu pokazanego na rys.8.1, który przedstawia wszystkie możliwości przerwania losowego łańcucha zdarzeń na obecnym etapie poznania zagrożenia pyłowego (wzór 8.1).

Na niezbędność kompleksowego stosowania linii obrony przed zagrożeniem wybuchem pyłu węglowego zwrócił już uwagę profesor W.Cybulski [44, s.242], stwierdzając między inymi: "W celu uniknięcia straszliwych skutków wybuchów metanu i pyłu węglowego żadna linia obrony nie powinna być pominięta".

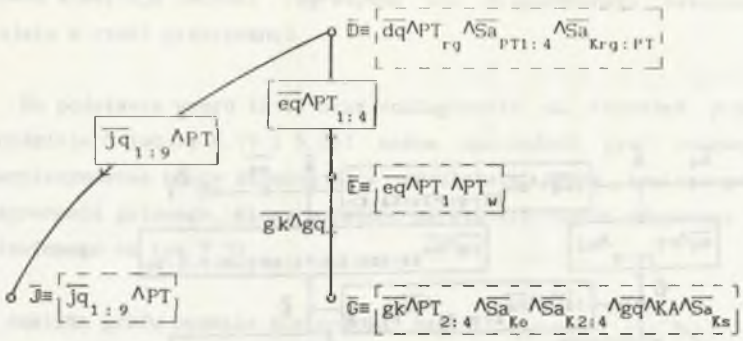
Rys.8.2 przedstawia fragment modelu celowej techniki bezpieczeństwa zawierający cztery linie obrony (zdarzenia pożądane) przed wybuchem pyłu węglowego ($PT_{1:4}$ oraz PT), wprowadzone przez profesora W. Cybulskiego [81].

Wymienione poziomy bezpieczeństwa, w węzłach grafu $\bar{E}, \bar{J}$ i $\bar{G}$ powodują negację określonych składników istotnych warunku koniecznego niepożądanego następstwa zdarzeń.




Rys. 8.1. Celowa technika bezpieczeństwa pracy w zakresie zagrożenia pyłowego

Fig. 8.1. Purposeful labour safety technics in dust hazard




Rys.8.2. Cztery linie obrony przed zagrożeniem pyłowym profesora Cybulskiego na tle modelu celowej techniki bezpieczeństwa pracy w zakresie pyłu

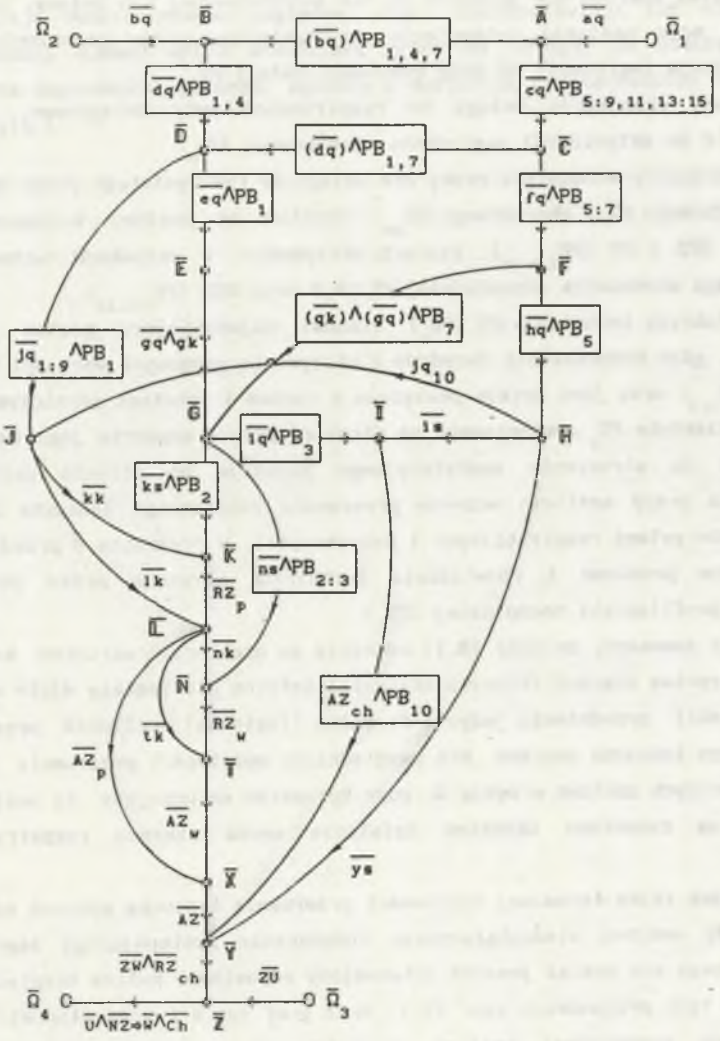
Fig.8.2. Professor Cybulski's four defensive lines orientated against the dust hazard in the background of the model of the purposeful safety technics with reference to dust

Profesor Cybulski wskazał ponadto na niezbędność: wprowadzenia dalszych linii obrony, tj. kontroli zagrożenia wybuchami pyłu węglowego $\overline{Sa}_{Ko}$, $\overline{Sa}_{K1:4}$, $Sa_{Ks}$ (węzeł $\overline{G}$), stosowania odpowiednich przepisów $Sa_{PT1:4}$ (węzeł $\overline{D}$) oraz prowadzenia prac naukowych nad ulepszeniem metod zwalczania niebezpieczeństwa wybuchu pyłu węglowego (rys.8.2).

Rys.8.3 przedstawia model celowej techniki bezpieczeństwa, na którym wprowadzono ogólne oznaczenia obowiązujących poziomów bezpieczeństwa $PB_{1:}$ (rozdział 6), co sprowadza go do nieco prostszej postaci.

Uzasadnionym postępowaniem jest jak najwcześniejsze przerwanie łańcucha zdarzeń $\overline{L}$, który poprzedza szkodliwość przez odpowiednie zdarzenia pożądane. Postulat ten realizuje pożądane działanie kierownictwa ZG aq, dozoru cq i całej załogi fq. Działanie to oparte na decyzjach pożądanych DP ($PB_5$) warunkuje sprawstwo regresywne $\overline{Sa}$ na wszystkich szczeblach kompetencji w zakresie KSZ,OO,P,R,KM,PM ($PB_{9:11:13:15}$).

Pożądane działanie na szczeblu kierownictwa i dozoru stanowi warunek konieczny pożądanego działania na niższych szczeblach kompetencji, tzn. dozoru i załogi przez sprawstwo regresywne w zakresie D,KO i K ($PB_{5:7}$). Pożądane działanie na wszystkich szczeblach kompetencji ponadto warunkuje utrzymanie nakazanych poziomów bezpieczeństwa w zakresie parametrów środowiska pracy - bezpośrednio w zakresie PT i KA ($PB_{1:4}$), a pośrednio w zakresie K, PP,FPZ,NDS i SPZ ($PB_{2:3:7:10}$).




Rys. 8.3. Uproszczony model celowej techniki bezpieczeństwa pracy w zakresie zagrożenia pyłowego

Fig. 8.3. Simplified purposeful labour safety technics in dust hazard

Pożądane działanie załogi na wszystkich szczeblach kompetencji jest zorientowane na:

- pożądane zmiany parametrów środowiska pracy, by podczas występującego następstwa zdarzeń nie dopuścić do nie kontrolowanej ich zmiany, w wyniku której może nastąpić osiągnięcie rzeczywistego progu zagrożenia RZ i aktywizacja zagrożenia AZ przy obecności załogi ys,
- pożądaną ekspozycję załogi na respirabilne pyły kolagenowe, by nie dopuścić do aktywizacji zagrożenia chorobowego $AZ_{ch}$.

Aby parametry środowiska pracy nie osiągnęły rzeczywistego progu zagrożenia wypadkowego RZ i chorobowego $RZ_{ch}$, istotne są poziomy bezpieczeństwa FPZ,NDS, SPZ i PP ($PB_{2;3;10}$), których utrzymanie w warunkach ruchowych na ogół wymaga stosowania odpowiedniej PT,KA,K oraz KSZ ($PB_{1;4;11}$).

Profilaktyka techniczna PT ($PB_1$) stanowi najważniejszy poziom bezpieczeństwa, gdyż bezpośrednio decyduje o utrzymaniu progowych wartości PP,FZP i NDS ($PB_{2;3}$) oraz jest ściśle powiązana z ruchem i robotami górniczymi.

Profilaktyka $PT_1$ zorientowana na strumień pyłu w momencie jego tworzenia i emisji do strumienia wentylacyjnego powoduje po stronie parametrów środowiska pracy możliwie wczesne przerwanie koniecznego łańcucha zdarzeń (zagrożenie pyłami respirabilnymi i wybuchowymi). W rozdziale 9 przedstawiono wybrane problemy i rozwiązania techniczne wdrożone przez autora w zakresie profilaktyki technicznej ($PT_1$).

Należy zauważyć, że wzór (8.1) odnośnie do niektórych warunków koniecznych następstwa zdarzeń (których składniki istotne nie zostały ujęte w przerywane ramki) przedstawia jedynie formalną (logiczną) możliwość przerwania koniecznego łańcucha zdarzeń. Nie uwzględniono możliwości przerwania łańcucha koniecznych zdarzeń w węźle A, gdyż sprawstwa warunkujące to następstwo zdarzeń są częściowo skutkiem działania spoza zakresu rozpatrywanych zdarzeń.

Przypadek tylko formalnej możliwości przerwania łańcucha zdarzeń zachodzi wtedy, gdy wskutek niedostatecznego rozpoznania występującego zagrożenia bezwzględnego nie został jeszcze ustanowiony odpowiedni poziom bezpieczeństwa $PB_j$. W tych przypadkach wzór (8.1) oraz graf rys.8.1 mogą stanowić punkt wyjścia do prowadzonej analizy prospektywnej występującego zagrożenia pyłowego zmierzającej do ustanowienia nowego $PB_{j+1}$ lub do zaostrzenia już istniejących poziomów bezpieczeństwa $PB_{1;j}$ (system job safety analysis (JSA) propagowany przez Mine Safety and Health Administration w USA [15a]).

Rzeczywistą możliwość przerwania łańcucha niepożądanych zdarzeń wskutek utrzymywanych poziomów bezpieczeństwa $PB_{i,j}$ należy, jak to już stwierdzono, traktować hipotetycznie. Oznacza to, że nakazane poziomy bezpieczeństwa zapewniają bezpieczeństwo względne, czyli uniemożliwiają lub maksymalnie ograniczają ujemny wpływ środowiska pracy na załogę, na obecnym etapie poznania zagrożenia pyłowego, zgodnie z definicją bezpieczeństwa przyjętą w rozdziale 1.

# 9. WYBRANE PROBLEMY PROFILAKTYKI TECHNICZNEJ ZORIENTOWANEJ NA STRUMIEŃ EMITOWANEGO PYŁU

Rozdział 9 stanowi wprowadzenie w problematykę profilaktyki technicznej zorientowanej na strumień pyłu emitowanego do strumienia wentylacyjnego ($PT_1$ - rozdział 7) w zmechanizowanych wyrobiskach ścianowych i chodnikowych. Stanowi również przegląd osiągnięć autora na tle literatury z tego zakresu.

## 9.1. WPROWADZENIE

Coraz większe moce i wydajności maszyn urabiających zainstalowanych w zmechanizowanych wyrobiskach ścianowych i chodnikowych wymagają ciągłego doskonalenia i optymalizacji stosowanej profilaktyki technicznej, by w warunkach ruchowych nie doszło do przekroczenia stężenia zapylenia powietrza, dopuszczalnego ze względów zdrowotnych (wartość NDS) [11,30,69, 132,148].

Zgodnie z obowiązującymi przepisami BHP (rozdz.7), dopuszczalne stężenie zapylenia frakcji wdychalnej (<5[$\mu$m]) zależy od udziału $SiO_2$ w pyle i wynosi:

NDS = 2 [$mg/m^3$], przy udziale $SiO_2$ < 10%,
NDS = 1 [$mg/m^3$], przy udziale $SiO_2$ 10 do 50%,
NDS = 0,3 [$mg/m^3$], przy udziale $SiO_2$ > 50%.

Pomiary przeprowadzone w KD "Barbara" IBG GIG w Mikołowie wykazały, że przeciętne stężenie zapylenia $S_1$ frakcji wdychalnej w strumieniu wentylacyjnym w zmechanizowanym wyrobisku ścianowym waha się w zakresie od 20 do 80 [$mg/m^3$] [179o]. Wartości te odnoszą się do maszyny urabiającej,

pracującej bez urządzeń odpylających. Podczas pracy kombajnu chodnikowego wartości stężenia zapylenia powietrza są jeszcze wyższe.

Z wartości tych stężeń wynika niezbędność stosowania profilaktyki technicznej w postaci urządzeń odpylających o określonej skuteczności, ponieważ $S_i >> NDS$.

Stężenie zapylenia w miejscu pracy załogi zależy od wielu czynników, które można ogólnie podzielić na trzy grupy [179m]:

- naturalne,
- techniczne,
- organizacyjno-ludzkie.

Czynniki naturalne są to właściwości wydobywanego surowca, takie jak skład mineralogiczny, kruchość, wilgotność itd. wpływające na wielkość strumienia emitowanego pyłu [91,117].

Do czynników technicznych zaliczamy: technologię wydobycia, rodzaj maszyny urabiającej (kombajn ścianowy bębnowy, strug węglowy, kombajn chodnikowy - głowicowy lub wiercący) czy transportującej [57], parametry konstrukcyjne (liczba organów urabiających, konstrukcja bębna i noży), parametry pracy (prędkość obrotowa organu urabiającego, zabiór, prędkość posuwu) i stan techniczny (stępienie noży) [13,60,60a,166,180] itd. Wpływ wentylacji na stężenie zapylenia [107,136] wymaga oddzielnego rozpatrzenia.

Przez czynniki organizacyjno-ludzkie należy rozumieć odpowiedni dobór usytuowania stanowisk pracy w przodku ścianowym czy chodnikowym, gdyż stężenie zapylenia zależy od miejsca i zmienia się w czasie. Czasem rozwiązaniem jest zdalne sterowanie przesuwania obudowy zmechanizowanej prowadzone z miejsca o niższym stężeniu zapylenia [30].

Działanie załogi ZG jest zorientowane na wszystkie trzy wymienione czynniki. W zmechanizowanych wyrobiskach ścianowych (wg panujących obecnie poglądów) ekonomicznie najbardziej uzasadnione jest stosowanie wody, prowadzące do zwilżenia ziarn pyłu, zanim pył utworzony podczas procesu urabiania przejdzie do strumienia wentylacyjnego [63,65,66,67,180].

Wytrącenie pyłu respirabilnego unoszonego już przez strumień wentylacyjny jest bardzo trudne z powodu niewielkich rozmiarów ziarn pyłu i wymaga użycia znacznych ilości energii [11,21,30].

Zastosowanie wody ma liczne zalety, do których zaliczamy stosunkowo niski koszt inwestycji i eksploatacji, dostępność w każdym zakładzie górniczym,

małe rozmiary urządzeń zraszających; a do wad należy stosunkowo niska skuteczność [69].

W zmechanizowanych wyrobiskach chodnikowych kamienno-węglowych, ze względu na wysokie wymagania zdrowotno-higieniczne, muszą być stosowane odpylacze wysokiej skuteczności odpylania, pracujące w układzie mokrym lub suchym, odpowiednio sprzęgnięte z systemem wentylacyjnym przodku.

Zastosowanie odpylaczy wymaga znacznie więcej miejsca w przodku niż przy zastosowaniu zraszania, podnosi koszt zwalczania pyłu i może stworzyć określone problemy ruchowe [11,32,37,38,54,134,179r,181,190].

W wyrobiskach ścianowych wzrost wilgotności pokładu jeszcze przed urabianiem uzyskuje się przez wstępne nawilżanie pokładu węglowego. Woda wtłaczana jest przez otwory wywiercone w caliźnie węglowej pod wysokim ciśnieniem do pokładu. Skuteczność tej metody zależy od ilości, ciśnienia, równomierności rozprowadzenia wody oraz od czasu zastosowania w stosunku do momentu urabiania i wynosi około $\eta_N$=0,5 [30,63,182d].

Podczas tworzenia się pyłu, lecz jeszcze przed jego przejściem do strumienia wentylacyjnego stosuje się tzw. zraszanie wewnętrzne wodą, doprowadzaną pod ciśnieniem do dysz zraszających umieszczonych w odpowiednich miejscach organu urabiającego. Skuteczność tej metody zależy od ilości, ciśnienia, właściwości fizykochemicznych wody zraszającej, konstrukcji i usytuowania dysz na organie urabiającym i w najkorzystniejszych okolicznościach waha się w granicach $\eta_z$ = 0,65 do 0,8 [20,21,182h]. Dodatkowym efektem zraszania wewnętrznego jest zwalczanie iskier mechanicznych, niebezpiecznych przy zagrożeniu metanowym [122a].

Tzw. zraszanie zewnętrzne realizowane jest przez strumień rozpylonej wody tworzący ekran dla pyłu unoszącego się w strumieniu wentylacyjnym. Skuteczność zraszania zewnętrznego jest znacznie niższa od skuteczności zraszania wewnętrznego i w dużej mierze zależy od takich parametrów, jak wielkość, ilość, energia kinetyczna i kierunek kropel tworzących określone spektrum [168,177,183,184].

Skuteczność urządzenia odpylającego jest to stosunek procentowy stężenia zapylenia z urządzeniem odpylającym do stężenia zapylenia bez stosowania odpylania. Ze względu na stosunkowo niskie skuteczności wstępnego nawilżania pokładów węglowych i zraszania metody te stosuje się na ogół kompleksowo [11,18,30,54]. Całkowita skuteczność odpylania wynosi wtedy:

$$\eta = 1 - (1 - \eta_N)(1 - \eta_z), \tag{9.1}$$

$$\eta_N = \frac{S_1 - S_2'}{S_1}, \tag{9.2}$$

$$\eta_z = \frac{S_2' - S_2}{S_2'}, \tag{9.3}$$

gdzie $S_1$ - stężenie zapylenia bez stosowania urządzeń odpylających,

$S_2'$ - stężenie zapylenia po wstępnym nawilżaniu pokładu,

$S_2$ - wynikowe stężenie zapylenia pyłami respirabilnymi w wyniku wstępnego nawilżania pokładu i zraszania,

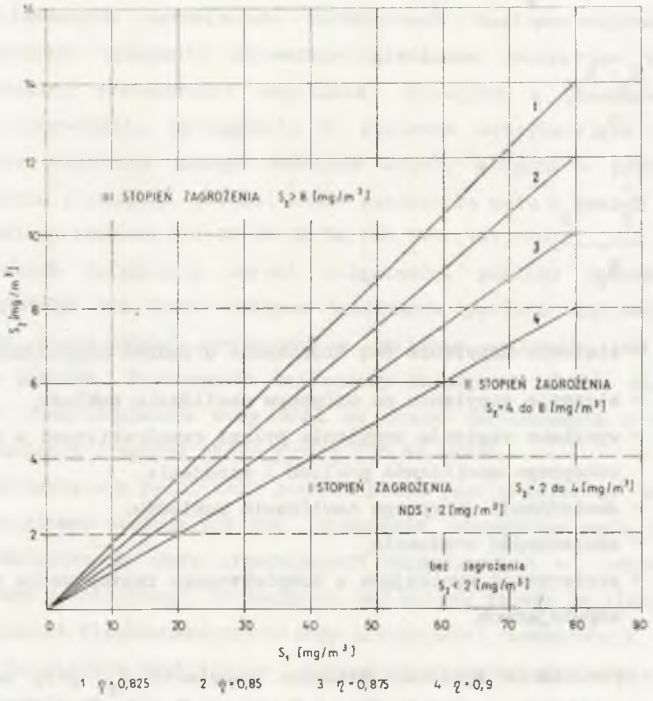
$\eta_N$ - skuteczność wstępnego nawilżania pokładów,

$\eta_z$ - skuteczność zraszania,

$\eta$ - skuteczność wynikająca z kompleksowego zastosowania urządzeń odpylających.

Rys. 9.1 przedstawia wynikowe stężenia zapylenia $S_2$, przy zastosowaniu wstępnego nawilżania pokładów węglowych i zraszania w zależności od wstępnego stężenia zapylenia $S_1$, przy różnych skutecznościach zraszania $\eta_z$ od 0,65 do 0,8 i $\eta_N$=0,5. Na rys. 9.1 naniesiono również wartości NDS i graniczne wartości stężenia zapylenia, oddzielające od siebie poszczególne stopnie zagrożenia pyłowego (rozdz. 7).

Przyjmując następnie, że w wyrobiskach ścianowych występują na ogół udziały procentowe $SiO_2$ w zakresie od 0 do 10% (wartość NDS wynosi wtedy 2 [mg/m$^3$]), z rys. 9.1 wynika, że jedynie przy maksymalnej skuteczności urządzeń odpylających $\eta$=0,9 i przy stosunkowo niskim wstępnym stężeniu zapylenia $S_1$=20[mg/m$^3$] uzyskuje się w środowisku pracy stężenie zapylenia $S_2$ nie większe od NDS=2[mg/m$^3$]; a w przypadku stężenia zapylenia $S_1$>20 do 40 [mg/m$^3$] wielkość stężenia zapylenia $S_2$ kwalifikuje wyrobisko do I stopnia zagrożenia. Przy stężeniu zapylenia $S_1$ w zakresie $S_1$>40 do 80 [mg/m$^3$] następuje przekwalifikowanie wyrobiska do II stopnia zagrożenia.




Rys. 9.1. Zależność $S_2(S_1)$ przy różnych $\eta_d$
Fig. 9.1. The relation $S_2(S_1)$ for different $\eta_d$

Znacznie gorzej przedstawia się sytuacja, gdy rozpatrzymy najniższą z podanych skuteczności $\eta$, a mianowicie $\eta$=0,825; wtedy przy wstępnym stężeniu zapylenia $S_1$=20[mg/m$^3$], stężenie końcowe zapylenia po zastosowaniu wstępnego nawilżania i zraszania wynosi $S_2$>3[mg/m$^3$], co kwalifikuje wyrobisko od razu do I stopnia zagrożenia pyłowego; przekroczenie zaś wartości $S_1$=23[mg/m$^3$] zalicza wyrobisko do II stopnia, a wartości $S_1$=46[mg/m$^3$] do III stopnia zagrożenia.

W związku z tym wysiłki skierowane są na uzyskanie możliwie wysokiej skuteczności stosowanych metod zwalczania zapylenia [11,54,69,75]. Zasadniczym parametrem decydującym o skuteczności zwalczania zapylenia za pomocą wody jest jednostkowe zużycie wody w stosunku do urobku (w [dm$^3$/t]) [13,18,20,21,30,165].

Określone znaczenie przypisuje się właściwościom fizykochemicznym wody zraszającej, gdyż węgiel charakteryzuje naturalna hydrofobowość, zależna od różnych jego właściwości powierzchniowych. W związku z tym w górnictwie są stosowane różne zwilżacze, obniżające napięcie powierzchniowe wody [19,122,163,167,177,178,179h,k,m,182j,186k,188b,e,f].

Osobny problem stanowi odpowiednie dozowanie zwilżacza stałego lub ciekłego do strumienia wody zraszającej, płynącej przewodem, a znajdującej się tam pod ciśnieniem [19,22,23,179a,b,g,182c,f,186c,d,e,f,g,h,188a].

Przy nawilżaniu pokładów węglowych były prowadzone próby zastosowania soli higroskopijnych ($CaCl_2$,$MgCl_2$), jako dodatku do wody utrudniającego jej odparowanie [187]. Próby te wykazały dobrą skuteczność tej metody, która jednak jest kłopotliwa w zastosowaniu.

Konstrukcja stosowanych dysz zraszających, zwłaszcza przeznaczonych do zraszania zewnętrznego, powinna zapewnić wystarczające rozdrobnienie wody, na co poza konstrukcją wpływa również wysokość ciśnienia wody zraszającej [65,157,168,179d,p,182f,183,188c,189]. Niezawodność dysz zraszających zależy od stopnia zanieczyszczenia wody kopalnianej. W celu polepszenia pracy dysz zraszających stosowane są konstrukcje dysz samooczyszczalnych [13,30, 179i,182f,188g]. Woda pobierana z rurociągu przeciwpożarowego w celu zastosowania do zwalczania zapylenia jest wstępnie filtrowana [179c,182d,f, 186a,b,188d].

Zwiększenie prędkości przepływu powietrza uintensywnia dyspersję wody w powietrzu,co, do pewnych granic, sprzyja koagulacji pyłu z kroplami rozpylonej cieczy. Wykorzystując moc stożkowego strumienia kropel wody zraszającej, wypływającego z dyszy, zwiększono prędkość przepływu powietrza obudowując strumień kropel wody cylindryczną komorą mieszania [176,179h,186i].

Duże znaczenie dla skuteczności zraszania ma odpowiedni układ dysz w stosunku do źródła zapylenia. Uzyskuje się to stosując na kombajnach ścianowych odpowiednie układy zraszające [13,65,164,173,182a,f,g,h].

Silne źródła zapylenia (przykładowo duże przesypy) należy obudować w celu izolacji od otoczenia [8,30]. Podział strumienia wentylacyjnego w wyrobisku ścianowym stwarza możliwość utworzenia oddzielonych od siebie stref o zróżnicowanym stężeniu zapylenia [7,30].

Określone nadzieje wiąże sie z zasłonami powietrznymi, stosowanymi w celu oddzielenia stref o silnym stężeniu zapylenia od stref słabo zapylonych, np. przy pracy kombajnów chodnikowych głowicowych [6].

Stosuje się obecnie również zraszanie segmentu obudowy kroczącej oraz pola zawałowego podczasu kolejnego przesuwania obudowy zmechanizowanej [30,67].

W celu zapewnienia kombajnom ścianowym, stosowanym w naszym górnictwie, optymalnych parametrów pracy instalacji zraszającej skonstruowano uniwersalne urządzenie zraszające dla kombajnów ścianowych AQUA-1 [174,179j,k,m,182g,h,186m]. Zmniejszenie stężenia zapylenia w ścianach strugowych uzyskuje się przez zastosowanie różnych układów zraszania strefowego [30,66].

Rozwój wstępnego nawilżania pokładów węglowych idzie w kierunku zwiększenia skuteczności tej pożytecznej metody przez zastosowanie: zaworów regulacji wydajności (niezależnie od ciśnienia wtłaczanej wody), pomp o regulowanej wydajności, lepszego uszczelniania otworów nawilżających (wykonanych w pokładzie), polepszenia technologii wykonywania otworów przez zastosowanie wiercenia turbinowego [30,63].

Podczas kombajnowego drążenia chodników występuje konieczność stosowania odpylaczy wysokiej skuteczności odpylania, sprzęgniętych z systemem wentylacyjnym przodku, pracujących w układzie ssącym lub kombinowanym [32,37,41,179r,181,182b,i].

Występujące zagrożenie metanowe ogranicza możliwy postęp dobowy chodnika drążonego kombajnowo, przy zastosowaniu odpylacza [38,41].

## 9.2. WYBRANE ROZWIĄZANIA TECHNICZNE OPRACOWANE I WDROŻONE PRZEZ AUTORA DO GÓRNICTWA

### 9.2.1. Zwilżacz Roksol $Z_1$

W wyniku współpracy ZKMPW w Gliwicach i Instytutu Ciężkiej Syntezy Organicznej w Blachowni Śl. opracowano ciekły zwilżacz Roksol $Z_1$, spełniający wymogi górnictwa dotyczące skuteczności zraszania, możliwości dozowania do wody w warunkach ruchowych oraz nieszkodliwości dla załogi i środowiska naturalnego [179f,n,186k,188f].

Produkcję Roksolu $Z_1$ od 1973 r. podjęły Nadodrzańskie Zakłady Przemysłu Organicznego ROKITA w Brzegu Dolnym. Zwilżacz Roksol $Z_1$ stanowi 50% roztwór

wodny kompozycji składającej się w 30% ze zwilżacza Roksol N8 oraz 70% zwilżacza Rokanol OK 3,5.

Rys. 9.2 przedstawia zależność czasu tonięcia τ próbki pyłu węglowego z KWK Brzeszcze od stężenia M roztworu wodnego zwilżacza Roksol $Z_1$. Czas tonięcia pyłu τ przy zastosowaniu Roksolu $Z_1$ jest niezależny od twardości wody kopalnianej n, co ilustruje rys. 9.3.

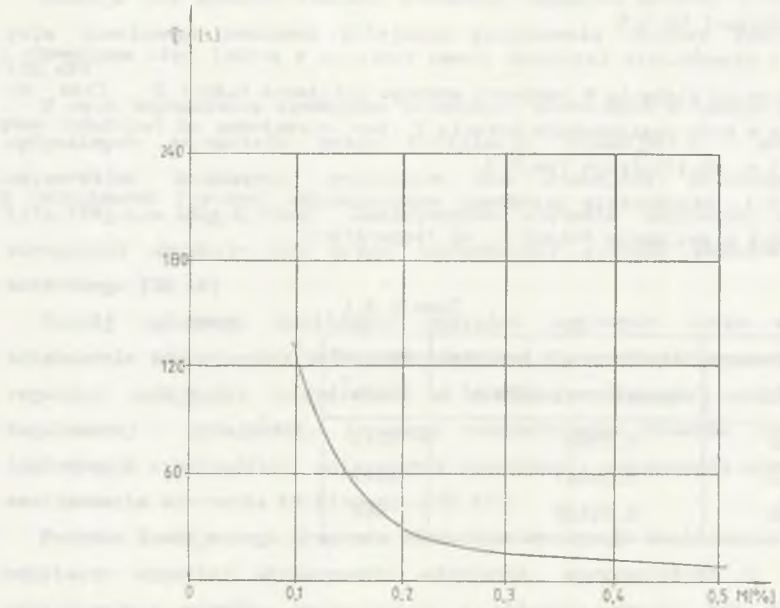
Tabela 9.1 przedstawia zależność współczynnika lepkości dynamicznej $\mu$ oraz gęstości $\rho$ zwilżacza Roksol $Z_1$ od temperatury.

Tabela 9.1

| Temperatura t[°C] | Współczynnik lepkości dynamicznej $\mu$[Pa.s] | Gęstość [kg/m$^3$] |
|---|---|---|
| 10 | 0,1104 | 1016 |
| 20 | 0,0564 | 1011 |
| 30 | 0,03135 | 965 |

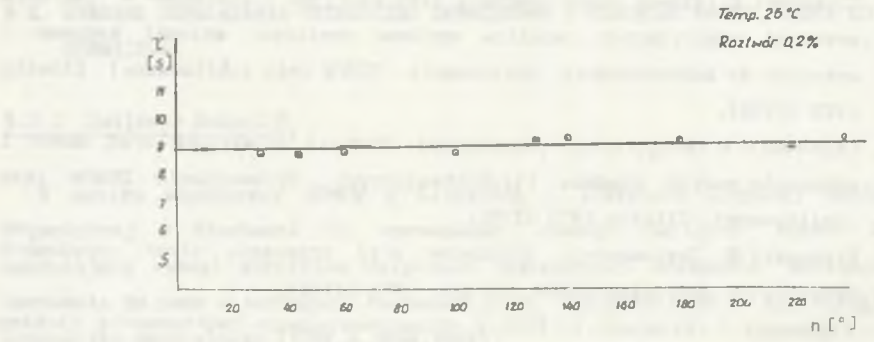
**Dorobek autora dotyczący zastosowania zwilżaczy w górnictwie**


1. Cichowski E.: Zastosowanie zwilżaczy przy zwalczaniu zapylenia. Nowości ZKMPW nr 7, Gliwice 1970 [188b],
2. Bojarek T., Cichowski E.: Zwilżalność pyłu węglowego wodą kopalnianą. Mechanizcja Górnictwa 6, Gliwice 1971 [167],
3. Cichowski E. (główny autor): Badania laboratoryjne i stoiskowe w zakresie urządzeń odpylających, analiza wyników pomiarów, wnioski końcowe i wytyczne do konstruowania. Opracowanie ZKMPW (nie publikowane) Gliwice 1972 [179e],
4. Cichowski E. (konstruktor prowadzący): Badania selekcyjne oraz dobór i wdrożenie nowych środków fizykochemicznych. Sprawozdanie ZKMPW (nie publikowane), Gliwice 1973 [179f],
5. Cichowski E.: Zastosowanie zwilżaczy przy zraszaniu stref zapylonych. Wydawnictwo Specjalne ZKMPW, Gliwice 1973 [188f],
6. Cichowski E., Niemczyk B.: Efekty eksperymentalnego zastosowania ciekłego zwilżacza KBS przy zwalczaniu zapylenia w KWK Brzeszcze. Nowości ZKMPW, nr 3, Gliwice 1973 [188e],




Rys. 9.2. Zależność τ(M)

Fig. 9.2. The relation τ(M)




Rys. 9.3. Zależność $\tau(n^0)$

Fig. 9.3. The relation $\tau(n^0)$

7. Cichowski E.: Problemy stosowania zwilżacza KBS przy zwalczaniu zapylenia w górnictwie. Wydawnictwo Śląsk. Prace ZKMPW. Komunikat nr 91, Gliwice 1974 [19],
8. Cichowski E. (współtwórca): Środek zwilżający zwłaszcza do likwidacji zapylenia. Patent nr 100461 z 1979 [186k],
9. Cichowski E.: Ocena środków zwilżających stosowanych w górnictwie. Zespół Rzeczoznawców SITG (nie publikowane), Katowice 1979 [179l],
10. Cichowski E.: Badanie sprawności zraszania pyłów unoszących się w powietrzu wodnym roztworem środków powierzchniowo-aktywnych. Archiwum Górnictwa tom 26, zeszyt 2, Kraków 1981 [177],
11. Cichowski E.: The influence of physical properties of water on the suppression of dust by water spray. Materiały konferencyjne: I. International Symposium on Occupational Health and Safety in Mining and Tunnelling, Praga 1982 [178].

## 9.2.2. Dozownik ciekłego zwilżacza typu Dz-1A

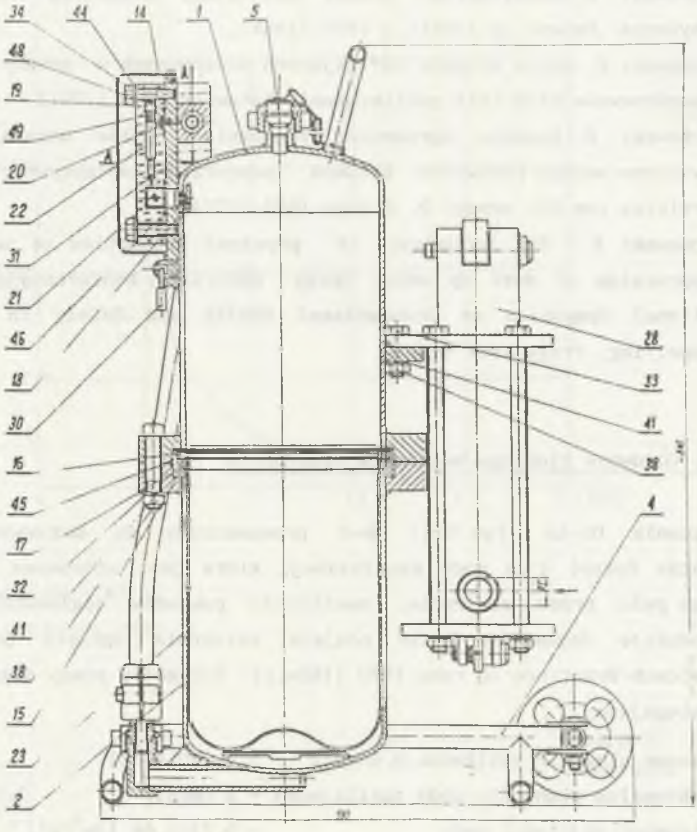
Dozownik Dz-1A (rys. 9.4) jest przeznaczony do dozowania ciekłego zwilżacza Roksol $Z_1$ do wody kopalnianej, która jest stosowana do wiązania lotnego pyłu przez zraszanie, nawilżanie pokładów węglowych, zmywanie.

Produkcję dozownika Dz-1A podjęła Wytwórnia Sprzętu Górniczego w Mysłowicach-Brzezince od roku 1973 [182e,f]. Parametry pracy dozownika Dz-1A są następujące:

masowe stężenie zwilżacza w wodzie - 0,2-0,4 [%],
maksymalne ciśnienie wody zasilającej - 2 [MPa],
strumień objętości wody - 0,33-1,66 [$dm^3/s$],
objętość zbiornika - 22 [$dm^3$].

**Dorobek autora dotyczący dozowania zwilżaczy**

1. Cichowski E. (konstruktor prowadzący): Dokumentacja techniczna ZKMPW pt: Urządzenie zraszające Zr-1 i Zr-2. Gliwice 1967 [179a],
2. Cichowski E. (patent niemiecki): Dosierapparat. Patent nr 1806897 z dnia 4.10.1968 [186d],
3. Cichowski E. (patent francuski): Dispositif de dosage. Patent nr 1590546 z dnia 4.10.1968 [186e],




Rys.9.4. Dozownik typu Dz-1A

Fig.9.4. The proportioner of the type Dz-1A

4. Cichowski E.(patent angielski):Proportioner. Patent nr 1207746 z dnia 4.10.1968 [186f],

5. Cichowski E.: Adaptation of Venturi tubes for dosage of small quantities of liquid. Materiały konferencyjne: III.Conference on Fluid Mechanics and Fluid Machinery, Budapeszt 1969 [172],

6. Cichowski E.(konstruktor prowadzący): Dokumentacja techniczna ZKMPW pt:Dozownik cieklego zwilzacza KBS typu Dz-1. Gliwice 1969 [179b],

7. Cichowski E.: Dozownik Dz-1.Poradnik nr 202. ZKMPW, Gliwice 1969 [182c],
8. Cichowski E.(główny twórca):Urządzenie dozujące. Patent nr 61403 z dnia 9.03.1971 [186c],
9. Cichowski E.(główny twórca):Urządzenie dozujące. Patent 64839, 1972 [186g],
10. Cichowski E.(główny twórca): Urządzenie dozujące. Patent 75911, 1974 [186h],
11. Cichowski E.(główny autor): Badania laboratoryjne i stoiskowe w zakresie urządzeń odpylających, analiza wyników pomiarów, wnioski końcowe i wytyczne do konstruowania. Opracowanie .ZKMPW (nie publikowane), Gliwice 1972 [179e],
12. Cichowski E.: Dokumentacja techniczna ZKMPW pt:Dozownik Dz-1A. Gliwice 1973 [179g],
13. Cichowski E.:Problemy stosowania zwilżacza KBS przy zwalczaniu zapylenia w górnictwie. Wydawnictwo Śląsk. Prace ZKMPW. Komunikat nr 91. Gliwice 1974 [19],
14. Cichowski E.:Analiza pracy dozownika dyfuzyjnego z wymuszoną konwekcją. ZN Politechniki Śl.Górnictwo nr 118, Gliwice 1983 [22],
15. Cichowski E.:Dosieren fester Zusatzmittel ins fließende Wasser. Bergbau nr 10, Essen 1984 [23].

## 9.2.3. Filtr szybkooczyszczalny do wody zraszającej typu FSO

Filtr typu FSO (rys.9.5) znalazł zastosowanie w urządzeniach przeznaczonych do zwalczania zapylenia, zasilanych z rurociągu przeciwpożarowego, zwłaszcza gdy chodzi o szybkie oczyszczenie elementu filtrującego bez konieczności demontażu filtru. Filtr stanowił element dozownika Dz-1, natomiast dla wersji DZ-1A stanowił element oddzielny. Filtr FSO był produkowany od 1973 r. przez Wytwórnię Sprzętu Górniczego DEHAK w Mysłowicach- Brzezince [182e,f].

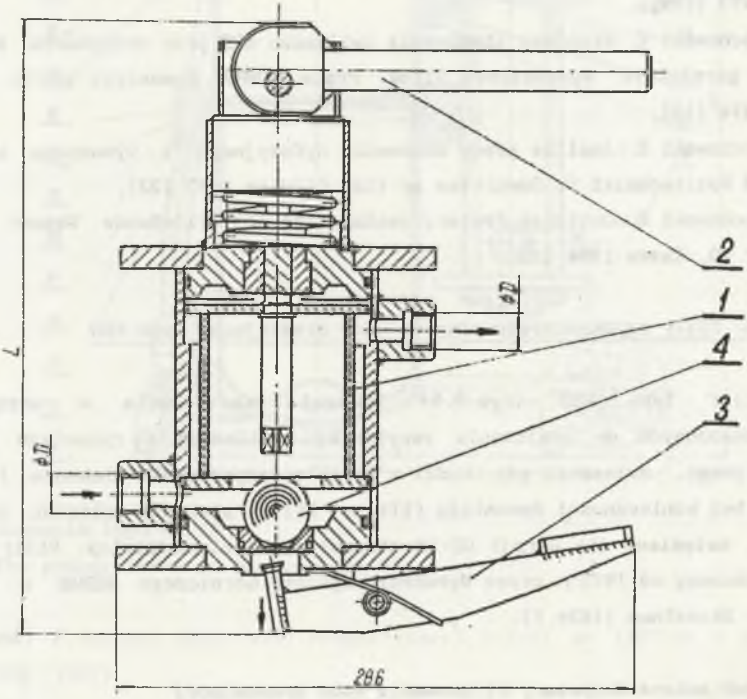
**Dorobek autora dotyczący filtrowania wody zraszającej**

1. Cichowski E.(konstruktor prowadzący): Dokumentacja techniczna ZKMPW pt: Filtr szybkooczyszczalny do wody zraszającej typu FSO, 1969 [179c],
2. Cichowski E. (główny twórca):Samooczyszczalny filtr do cieczy. Patent nr 56603 z 1969 [186a].

3. Cichowski E. (główny twórca):Samooczyszczalny filtr do cieczy. Patent nr 59653 z 1970 [186b],
4. Cichowski E.: Filtr szybkooczyszczalny. Nowości ZKMPW nr 7, Gliwice 1970 [188d].

## 9.2.4. Seria dysz zraszających typu DP i DS

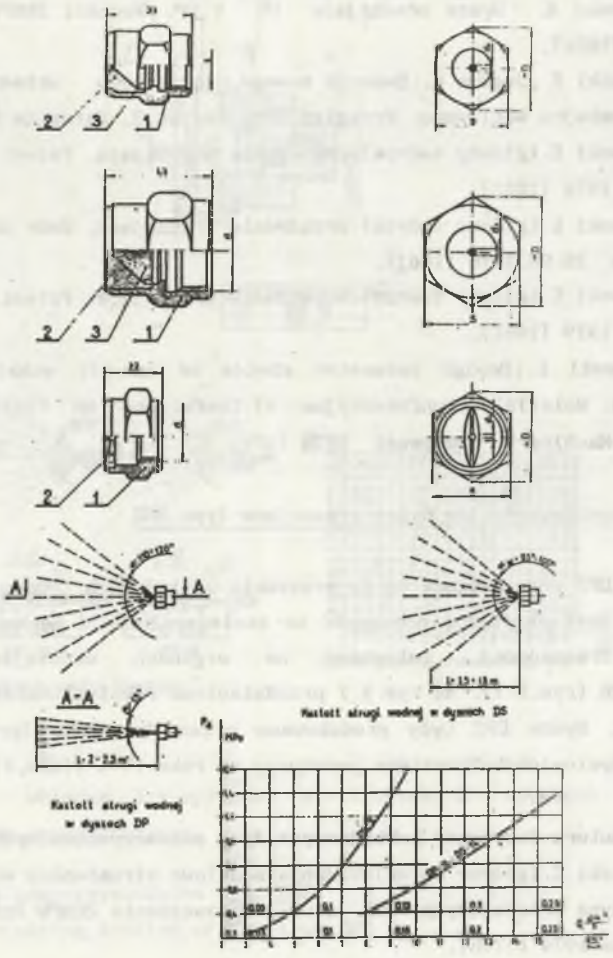
Dysze zraszające były wykonywane w dwóch odmianach różniących się kształtem rozpylonej wody: stożkowym DS-9 i DS-14 oraz płaskim DP-14 (rys. 9.6) przez Wytwórnię Sprzętu Górniczego DEHAK w Mysłowicach-Brzezine od roku 1970 [182e,f]. Na rys.9.6 przedstawiono również charakterystykę pracy dysz DS i DP. Dysze DS i DP przeznaczone są do zraszania urobku w czasie transportu, wysypu czy przesypu.




1 - siatkowy element filtrujący, 2 - dźwignia z mimośrodem, 3 - pedał, 4 - zawór kulkowy

Rys.9.5. Filtr szybkooczyszczalny typu FSO

Fig.9.5. The quick cleaning filter of the type FSO




1 - kadłub, 2 - wkładka, 3 - nasadka

Rys. 9.6. Dysze zraszające typu DS i DP

Fig. 9.6. Sprinkling nozzles of the type DS and DP

**Dorobek autora dotyczący zraszania stref zapylonych**

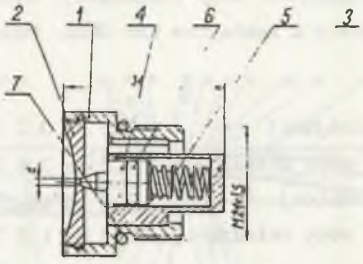
1. Cichowski E.(konstruktor prowadzący):Dokumentacja techniczna ZKMPW pt: Dysze zraszające DP i DS. Gliwice 1970 [179d],
2. Cichowski E.: Dysze zraszające DS i DP. Nowości ZKMPW nr 7, Gliwice 1970 [188c],
3. Cichowski E.,Jagoda L.:Badanie nowego tarczowego układu zraszającego dla kombajnu węglowego. Przegląd Górniczy nr 3, Katowice 1975 [173],
4. Cichowski E.(główny twórca):Urządzenie odpylające. Patent nr 78796 z dnia 19.05.1976 [186i],
5. Cichowski E.(główny twórca):Urządzenie zraszające. Wzór użytkowy nr 24536 z dnia 26.04.1976 [186j],
6. Cichowski E.(główny twórca):Urządzenie zraszające. Patent nr 88255 z dnia 13.01.1979 [186l],
7. Cichowski E.:Design parameter choice of an air sukking water whirl nozzle. Materiały konferencyjne: VI.Conference on Fluid Mechanics and Fluid Machinery. Budapeszt 1979 [176].

## 9.2.5. Samooczyszczalne dysze zraszające typu DPZ

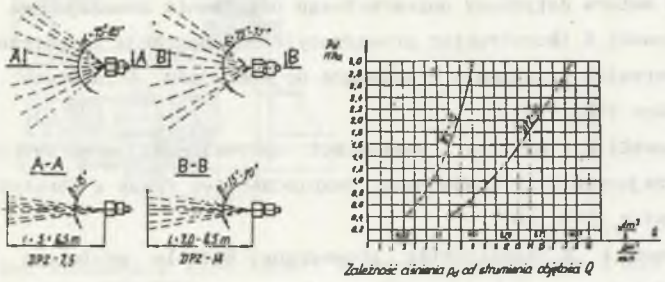
Dysze DPZ przeznaczone są do zraszania w miejscach trudno dostępnych, gdy wymagana jest określona odporność na zanieczyszczenia mechaniczne zawarte w wodzie zraszającej, zwłaszcza na organach urabiających kombajnów ścianowych (rys.9.7). Na rys.9.7 przedstawiono również charakterystykę pracy dysz DPZ. Dysze DPZ były produkowane przez Wytwórnię Sprzętu Górniczego DEHAK w Mysłowicach-Brzezince począwszy od roku 1974 [182e,f].

**Dorobek autora dotyczący kombajnowych dysz samooczyszczalnych**

1. Cichowski E.(główny autor):Badania modelowe strumienicy wodno-powietrznej oraz dysz zraszających DPZ i DSZ. Sprawozdanie ZKMPW (nie publikowane), Gliwice 1974 [179h],
2. Cichowski E.(konstruktor prowadzący): Dokumentacja techniczna ZKMPW pt: Samooczyszczalne dysze zraszające do kombajnu typu DPZ. Gliwice 1974 [179i],
3. Cichowski E.: Nowe dysze kombajnowe DPZ i DSZ. Nowości ZKMPW nr 1, Gliwice 1975 [188g].




| d (mm) | Wielkość dyszy |
|---|---|
| 2,0 | DPZ - 2,5 |
| 2,8 | DPZ - M |




Kształt strugi wodnej w dyszach DPZ.

Zależność ciśnienia $p_d$ od strumienia objętości Q

1 - kadłub, 2 - wkładka, 3 - cylinder, 4 - tłoczek, 5 - sprężyna, 6,7 - pierścień uszczelniający

Rys.9.7. Dysze samooczyszczalne typu DPZ

Fig.9.7. Selfcleaning nozzles of the type DPZ

### 9.2.6. Uniwersalne urządzenie zraszające dla kombajnów ścianowych typu AQUA-1

Układ zraszający AQUA-1 jest przeznaczony do zwalczania zapylenia powstającego w wyniku pracy kombajnów ścianowych. Poszczególne odmiany

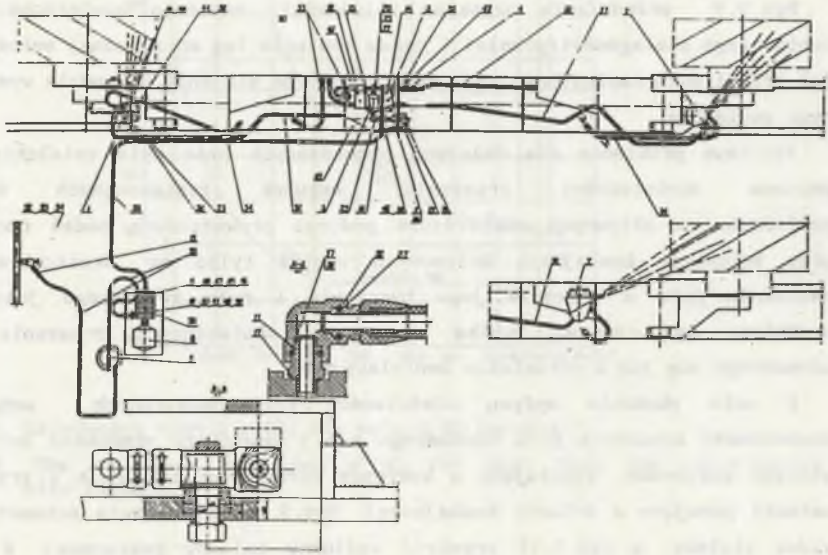
urządzenia AQUA-1 dostosowane są do współpracy ze wszystkimi podstawowymi kombajnami stosowanymi w polskim górnictwie. Konstrukcja urządzenia zapewnia uzyskanie odpowiednio wysokich parametrów wody zraszającej przy wystarczających parametrach wody chłodzącej. Rys. 9.8 przedstawia wersję dostosowaną do współpracy z kombajnem KWB-3RDU. Podstawowe dane techniczne urządzenia AQUA-1:

| | |
|---|---|
| ciśnienie wody zraszającej | 2,5 do 3,3 [MPa], |
| strumień objętości wody zraszającej | 1,0 do 3,6 [$dm^3/s$], |
| ciśnienie wody chłodzącej | 1,5 [MPa], |
| strumień objętości wody chłodzącej | 1,0 do 1,5 [$dm^3/s$]. |

Producentem urządzenia AQUA-1 była Zabrzańska Fabryka Maszyn Górniczych POWEN od 1975 r. i Zakłady Mechaniczne Urządzeń Wiertniczych w Sosnowcu od 1976 r. [182e,f,g,h].

**Dorobek autora dotyczący uniwersalnego urządzenia zraszającego**

1. Cichowski E. (konstruktor prowadzący): Dokumentacja techniczna KOMAGu pt: Uniwersalne urządzenie zraszające do kombajnów ścianowych typu AQUA-1. Gliwice 1975 [179j],
2. Cichowski E.: Analiza możliwości optymalnego wykorzystania urządzeń zraszających przy kombajnach. Bezpieczeństwo Pracy w Górnictwie nr 2, WUG Katowice 1975 [20],
3. Cichowski E. (konstruktor prowadzący): Badanie prototypu uniwersalnego urządzenia zraszającego AQUA-1. Sprawozdanie KOMAGu (nie publikowane), Gliwice 1976 [179k],
4. Cichowski E., Dębiec J., Jagoda L.: Wyznaczenie charakterystyk eksploatacyjnych nowego układu zraszajacego do kombajnów węglowych. Przegląd Górniczy nr 1, Katowice 1978 [174],
5. Cichowski E. (główny twórca): Układ zraszający dla kombajnów węglowych. Patent nr 105037 z 1980 [186m],
6. Cichowski E.: Wytyczne obniżenia stężenia zapylenia powietrza w wysokozmechanizowanych wyrobiskach ścianowych przez optymalizację zastosowanych urządzeń zraszających i odpylających. Opracowanie Instytutu Techniki Eksploatacji Złóż (nie publikowane), Gliwice 1990 [179m].



Rys. 9.8. Układ zraszający typu AQUA-1 w wersji przeznaczonej dla kombajnu ścianowego KWB-3RDU

Fig. 9.8. The sprinkler of the type AQUA-1 in the version for the shearer loader KWB-3RDU

## 9.3. BADANIE SKUTECZNOŚCI ZRASZANIA PYŁÓW UNOSZĄCYCH SIĘ W POWIETRZU WODNYM ROZTWOREM ŚRODKÓW POWIERZCHNIOWO AKTYWNYCH *)

Środki powierzchniowo aktywne obniżając napięcie powierzchniowe wody zraszającej przyczyniają się do skrócenia czasu zwilżenia pyłu przez ciecz [1, 167].

*) opracowano na podstawie pracy autora pt. "Badanie sprawności zraszania pyłów unoszących się w powietrzu wodnym roztworem środków powierzchniowo aktywnych" opublikowanej w Archiwum Górnictwa, tom 26, z 2, Kraków 1981, [177].

Czysta woda wodociągowa, podobnie jak woda kopalniana, nie wykazuje właściwości zwilżających pyłu węglowego. Przebadano właściwości zwilżające pyłu węglowego z IBG GIG w Mikołowie przez roztwory wodne niejonowego zwilżacza Rokafenol N8, wybranego w drodze selekcji jako najskuteczniejszy spośród kilku dostępnych zwilżaczy [20].

Rys.9.9 przedstawia uzyskane zależności: napięcia powierzchniowego, (ustalanego stalagmometrycznie) i czasu tonięcia (wg opracowanej metody) 0,2 [g] próbki pyłu naniesionej na lustro cieczy od stężenia w wodzie wymienionego zwilżacza.

Istotnym problemem dla dalszych prowadzonych prac było ustalenie, czy poprawa skuteczności zraszania, wskutek zastosowanych środków powierzchniowo aktywnych stwierdzona podczas prowadzonych badań ruchowych przy bębnowych kombajnach ścianowych, wynika tylko ze skuteczniejszego zwilżenia pyłu w momencie jego tworzenia i pyłu związanego jeszcze z urobkiem, czy również wynika z poprawy skuteczności zraszania pyłu unoszącego się już w strumieniu wentylacyjnym.

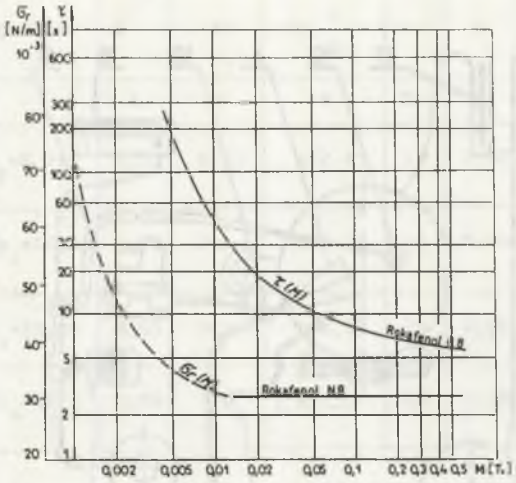
W celu zbadania wpływu właściwości fizykochemicznych wody na skuteczność zraszania pyłu unoszącego się w powietrzu zbudowano kolumnowe stoisko pomiarowe, symulujące w zakresie parametrów zapylenia i zraszania warunki panujące w ścianie kombajnowej. Rys.9.10 przedstawia schematycznie widok stoiska, a rys.9.11 przekrój wzdłużny kolumny pomiarowej. W skład stoiska wchodzą:

elementy oporowe dla przepływającego powietrza:

- znormalizowany zbiornik pomiarowy (poz.1) przeznaczony do pomiaru strumienia objętości powietrza,
- zawór regulacyjny powietrza (poz.2),
- przewody (poz.3),
- dyfuzor (poz.4),
- kolumna rurowa o średnicy 1200[mm] (poz.5),
- siatka druciana (poz.6),
- pionowa rura z oprawą filtru membranowego (poz.7),
- filtr membranowy (poz.8),

elementy zasilania:

- wentylator odśrodkowy dwustopniowy (poz.9),
- dozownik pyłu (poz.10) zasilany pompą DF-50 (poz.11),
- dysza zraszająca (poz.12) zasilana przez dwie pompy wirowe (poz.13), pracujące w układzie szeregowym z napływem,
- zbiornik (poz.14)




Rys.9.9. Zależności $\tau(M)$ i $\sigma_r(M)$ dla pyłu z KD Barbara

Fig.9.9. The ralations $\tau(M)$ and $\sigma_r(M)$ for dust from the experimental mine Barbara

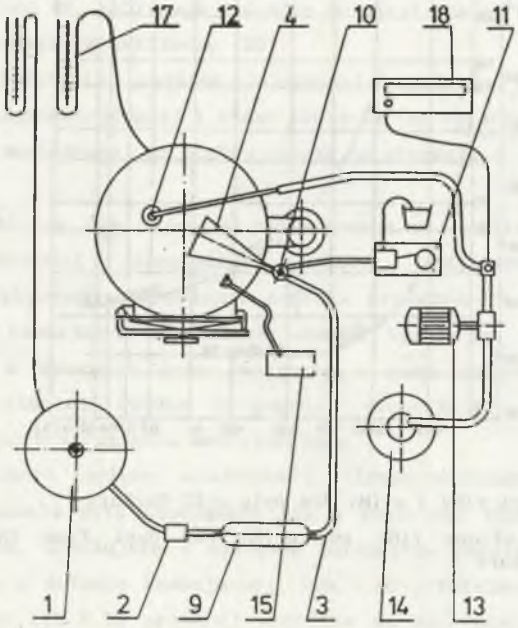
Ponadto w skład stoiska wchodzą:

- aspirator pracujący przy stałym strumieniu objętości powietrza 30[$dm^3$/min],
- manometr sprężynowy (poz.16),
- 2 manometry cieczowe (poz.17),
- zliczająco-analogowy miernik przepływu typu LMP443 z czujnikiem turbinowym (poz.18).

Wentylator zasysa powietrze z atmosfery przez zbiornik pomiarowy i tłoczy je przez przewody, dozownik pyłu i dyfuzor do kolumny, a stamtąd przez pionową rurę zakończoną filtrem membranowym z powrotem do atmosfery.

Spadek ciśnienia na filtrze membranowym aspiratora jest pokonywany przez napęd aspiratora, więc nie obciąża wentylatora.

Przeanalizowano szczegółowo charakterystyki pracy wszystkich istotnych elementów oporowych i zasilania, wchodzących w skład stoiska pomiarowego. Skuteczność zraszania $\eta_z$ określano zgodnie z zależnością (9.3).




Rys. 9.10. Stoisko badawcze (widok z góry)
Fig. 9.10. Experimental plant (view from above)

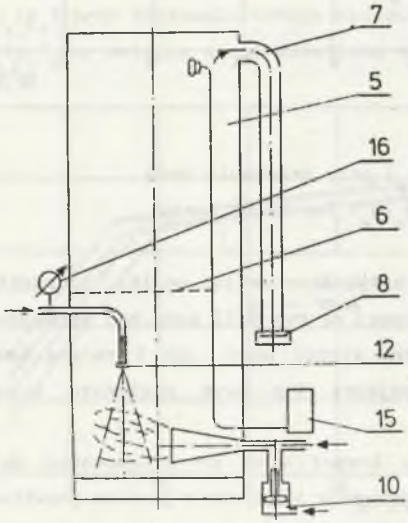
Celem przeprowadzonych badań było ustalenie wpływu na skuteczność zraszania pyłów unoszących się w powietrzu, napięcia powierzchniowego i właściwości zwilżających wody zraszającej przy zmieniającym się ciśnieniu wody.

Rys. 9.12 przedstawia uzyskaną zależność skuteczności zraszania $\eta_z$ wodą od ciśnienia wody zraszającej przed dyszą, zmieniającego się w zakresie od $p_d=1,3.10^5$ do $25.10^5$[Pa], przy stałym strumieniu objętości wody zraszającej. Krzywą doświadczalną przybliżono dwoma prostymi $\eta_1(p_d)$ i $\eta_2(p_d)$, które wyznaczono metodą najmniejszych kwadratów. Wyniki obliczeń statystycznych danych pomiarowych przedstawia tabela 9.2.

Tabela 9.2

| równanie regresji | $S^*$ | δ% | $p\pm\frac{t}{\sqrt{n}}$ | n | α | $r_{xy}$ | $r_a$ |
|---|---|---|---|---|---|---|---|
| 1 | 2 | 3 | 4 | 5 | 6 | 7 | 8 |
| $\eta_1=6,18.10^{-5}p_d+8,37$ *) | 4,05 | 8,83 | $\eta\pm2,41$ | 15 | 0,05 | 0,956 | 0,4973 |
| $\eta_2=0,504.10^{-5}p_d+64,8$ *) | 2,22 | 3.1 | $\eta\pm1,37$ | 16 | 0,05 | 0,815 | 0,4821 |
| $\eta_1=6,08.10^{-5}p_d+19,68$ **) | 4,51 | 9,1 | $\eta\pm2,12$ | 20 | 0,05 | 0,968 | 0,4329 |
| $\eta_2=0,705.10^{-5}p_d+61,5$ **) | 5,04 | 7,0 | $\eta\pm2,02$ | 28 | 0,05 | 0,699 | 0,3809 |

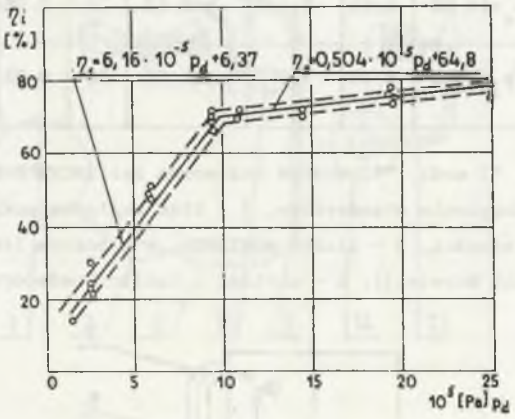
1 - zraszanie: *) wodą, **) wodnym roztworem zwilżacza Rokafenol N8,
2 - średnie odchylenie standardowe, 3 - błąd względem maksymalnej wartości,
4 - przedział ufności, 5 - liczba pomiarów, 6 - poziom istotności,
7 - współczynnik korelacji, 8 - wartość z tablic Snedecora.




Rys. 9.11. Stoisko badawcze (przekrój podłużny kolumny pomiarowej)
Fig. 9.11. Experimental plant (cross section of the measurement column

Wzrost skuteczności zraszania w miarę zwiększania ciśnienia wody można zgodnie z wynikami innych prac [168, 183, 184, 189] wiązać przyczynowo ze zmniejszeniem się średnicy kropel wody, któremu towarzyszy zwiększenie ich liczby, czyli inaczej ich stężenie w jednostce objętości powietrza.

W zakresie $\eta_1$ stężenie kropel o średnicy dogodnej dla wywołania koagulacji z pyłami gwałtownie rośnie, a przebieg krzywej skuteczności jest stromy. W zakresie $\eta_2$ przyrost liczby skutecznych kropel jest znacznie wolniejszy, więc i przebieg krzywej jest łagodniejszy.

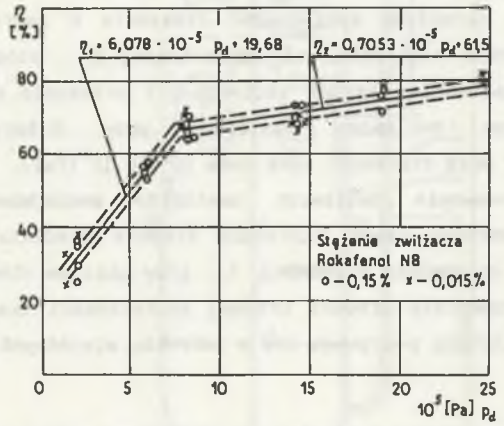



Rys. 9.12. Zależność $\eta_z(p_d)$ przy zraszaniu wodą
Fig. 9.12. The relation $\eta_z(p_d)$ for water spray

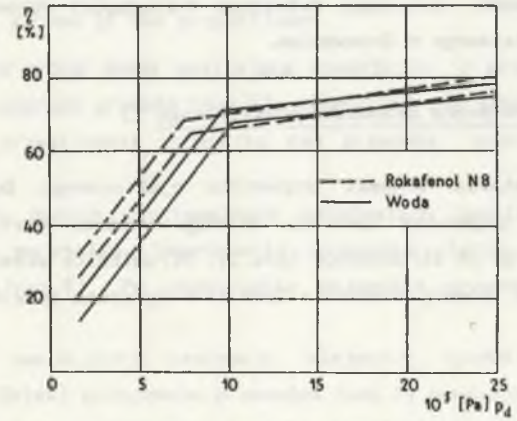
Z przeprowadzonych w artykule rozważań wynika, że punkt załamania krzywej skuteczności przedstawionej na rys. 9.12 może być spowodowany zmniejszeniem się zasięgu pewnej liczby kropel wody, jak i zmianą kształtu strugi wody zraszającej, nie obejmującej już swym zasięgiem strumienia zapylonego powietrza.

Coraz większa liczba kropel wody po wyhamowaniu dalszą drogę odbywa ze znacznie mniejszą prędkością (zgodnie z prawem grawitacji) przy znikomym efekcie odpylania. Punkt załamania krzywej skuteczności zraszania jest określony przez krytyczną średnią średnicę kropel wody zraszającej, zależną od warunków przeprowadzanych pomiarów.

Rys. 9.13 przedstawia zależność $\eta_z(p_d)$ w przypadku zraszania wodnym roztworem zwilżacza Rokafenol N8 przy stężeniach w wodzie 0,015 i 0,15[%] wyznaczoną analogicznie do przypadku zraszania wodą. Dla porównania na rys. 9.14 naniesiono wyznaczone przedziały ufności (tablica 9.2) dla $\eta_1$ i $\eta_2$ przy zraszaniu wodą i wodnym roztworem zwilżacza Rokafenol N8.




Rys. 9.13. Zależność $\eta_z(p_d)$ przy zraszaniu wodnym roztworem zwilżacza
Fig. 9.13. Relation $\eta_z(p_d)$ for wetting agent solutions spraying




Rys. 9.14. Porównanie przedziałów ufności
Fig. 9.14. The comparision of the confidence intervals

W zakresie prostych $\eta_1$ zaznacza się wyraźne zwiększenie skuteczności zraszania roztworem zwilżacza, które można wiązać ze zmniejszeniem się napięcia powierzchniowego i w konsekwencji zmniejszeniem średnicy kropel.

Nie stwierdzono natomiast, zgodnie z oczekiwaniem, zauważalnych różnic pomiędzy punktami pomiarowymi uzyskanymi dla stężeń zwilżacza M=0,15 i 0,015[%], gdyż w przypadku Rokafenolu N8 wymienione stężenia charakteryzują się prawie jednakowym napięciem powierzchniowym (rys.9.9).

Wynika stąd, że określoną skuteczność zraszania w zakresie $\eta_1$ można uzyskać przy mniejszym ciśnieniu wody zraszającej $p_d$ stosując zwilżacz (rys.9.13). Punkt załamania krzywej skuteczności zraszania przy zraszaniu wodnym roztworem zwilżacza następuje przy niższym ciśnieniu ($p_d=7,7.10^5$[Pa]) niż przy zraszaniu samą wodą ($p_d=10.10^5$[Pa]).

W wyniku zastosowania zwilżacza nastąpiło zmniejszenie napięcia powierzchniowego, wskutek czego krytyczna średnia średnica kropel wody zraszającej została osiągnięta wcześniej, tj. przy niższym ciśnieniu wody.

W zakresie $\eta_2$ przedziały ufności krzywej skuteczności zraszania wodą i wodnym roztworem zwilżacza pokrywają się w zakresie mierzonych ciśnień.

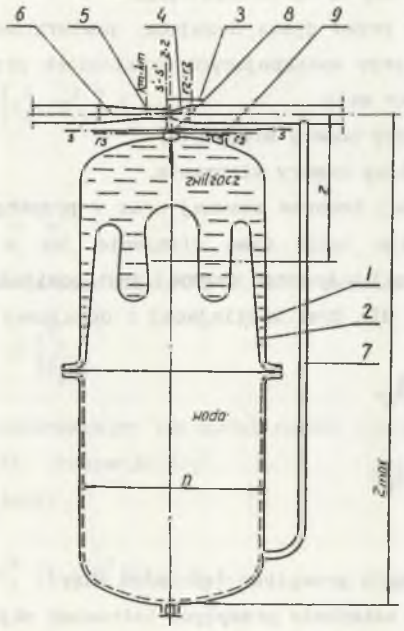
## 9.4. DOZOWANIE DO WODY CIEKŁYCH ŚRODKÓW POWIERZCHNIOWO AKTYWNYCH

Dozownik przeznaczony do dozowania w warunkach ruchowych środków powierzchniowo aktywnych do wody przeznaczonej do zwalczania zapylenia musi spełniać różne warunki dotyczące zwłaszcza dokładności dozowania i spadku ciśnienia wody, związanego z dozowaniem.

### 9.4.1. Analiza teoretyczna dozownika ejektorowego *)

Rys. 9.15 przedstawia schemat dozownika ejektorowego. Dozownik składa się z dzielonego pojemnika (poz.1), którego wnętrze przedziela wiotka przepona (poz.2) oraz ze strumienicy (poz.3). Strumienica składa się z dyszy zasilającej (poz.4), komory mieszania (poz.5) i dyfuzora (poz.6).

*) opracowano na podstawie pracy autora pt:"Problemy stosowania zwilżacza KBS przy zwalczaniu zapylenia w górnictwie"opublikowanej w Pracach ZKMPW,zeszyt nr 91, Gliwice 1974 [19].




Rys. 9.15. Schemat dozownika ejektorowego
Fig. 9.15. The scheme of the proportioner

Przewód tuż przed dyszą zasilającą komunikuje z przestrzenią pojemnika pod przeponą poprzez przewód (poz.7); przestrzeń zaś ssawna strumienicy jest połączona z przestrzenią pojemnika nad przeponą poprzez dyszę dozującą (poz.8).

Przepona w swoich ekstremalnych położeniach przylega do wewnętrznej powierzchni pojemnika. Napełnienie pojemnika cieczą dozowaną następuje przez otwór (poz.9). Po napełnieniu pojemnika przepona przyjmuje dolne położenie.

W dyszy zasilającej następuje miejscowy spadek ciśnienia cieczy zasilającej. Dzięki połączeniu przewodem (poz.7) powstaje różnica ciśnień po obydwu stronach dyszy dozującej (poz.8). Umożliwia to przepływ cieczy dozowanej z pojemnika do przestrzeni ssawnej strumienicy, poprzez dyszę dozującą. Na rys. 9.15 oznaczono poszczególne przekroje:

rz-rz - przekrój przewodu zasilającego tuż przed dyszą zasilającą,

z-z - przekrój wylotowy dyszy zasilającej,

s-s - przekrój wylotowy dyszy dozującej,

rs-rs - przekrój tuż przed dyszą dozującą; powierzchnia przekroju jest tak duża, że przy występujących natężeniach przepływu prędkość c jest pomijalnie mała,

s'-s' - przekrój wlotowy komory mieszania,

km-km - przekrój wylotowy komory mieszania.

Przyjęto, że w całej komorze ssawnej oraz w przekroju wlotowym komory mieszania s'-s' panuje takie samo ciśnienie jak w przekroju s-s, a prędkość cieczy zassanej w komorze ssawnej jest pomijalnie mała.

Równania ciągłości dla dysz zasilającej i dozującej są następujące:

$$\dot{G}_z = \rho_z F_z c_z = \rho_z \dot{Q}_z, \tag{9.4}$$

$$\dot{G}_s = \rho_s F_s c_s = \rho_s \dot{Q}_s, \tag{9.5}$$

gdzie

$\dot{G}$ - masowe natężenie przepływu (strumień masy),

$\dot{Q}$ - objętościowe natężenie przepływu (strumień objętości),

$\rho$ - gęstość,

F - powierzchnia przekroju wylotowego dyszy,

c - średnia prędkość cieczy w przekroju wylotowym dyszy.

Założono, że prędkość i ciśnienie w rozpatrywanych przekrojach są stałe, co zachodzi, z pewnym przybliżeniem, przy przepływie burzliwym. Równanie Bernoulliego przyjmuje postać:

- dla dyszy zasilającej

$$p_{rz} + \frac{\rho_z}{2} c_{rz}^2 = p_s + \frac{\rho_z}{2} c_z^2 + p_{strat-z}, \tag{9.6}$$

gdzie p - ciśnienie statyczne,

- dla dyszy dozującej

$$p_{rs} + \frac{\rho_s}{2} c_{rs}^2 = p_s + \frac{\rho_s}{2} c_s^2 + p_{strat-s} \tag{9.7}$$

Przyjęto, że przekroje z-z i s'-s' są położone tak blisko siebie, że między nimi nie następuje jeszcze zauważalny spadek prędkości $c_z$ lub zmiana ciśnienia $p_s$.

Przyjmując, że

$$p_{strat-z} = \frac{\rho_z}{2}\left(c_z^2 - c_{rz}^2\right)\xi_z, \tag{9.8}$$

$$p_{strat-s} = \frac{\rho_s}{2} c_s^2 \xi_s, \tag{9.9}$$

gdzie $\xi_z$ i $\xi_s$ stanowią współczynniki strat w dyszach oraz że

$$m = \frac{c_{rz}}{c_z} = \frac{F_z}{F_{rz}} = \left(\frac{d_z}{d_{rz}}\right)^2 \tag{9.10}$$

stanowi wyróżnik konstrukcyjny lub moduł zwężki (jaką stanowi strumienica wbudowana w przewód), otrzymuje się:

- dla dyszy zasilającej

$$p_{rz} - p_s = \frac{\rho_z}{2} c_z^2 (1 - m^2)(1 + \xi_z),$$

a stąd

$$c_z = \sqrt{\frac{2}{\rho_z(1 + \xi_z)(1 - m^2)}}\sqrt{p_{rz} - p_s}, \tag{9.11}$$

- dla dyszy dozującej

$$p_{rs} - p_s = \frac{\rho_s}{2} c_s^2 (1 + \xi_s),$$

a stąd

$$c_s = \sqrt{\frac{2}{\rho_s(1 + \xi_s)}}\sqrt{p_{rs} - p_s}. \tag{9.12}$$

Podstawiając równania (9.11) i (9.12) do równań (9.4) i (9.5) otrzymuje się stosunek ejekcji strumienicy, czyli masowe stężenie M cieczy dozowanej w cieczy zasilającej:

$$M = \frac{\dot{G}_s}{\dot{G}_z} = W_d \sqrt{(1 - m^2)\frac{1 + \xi_z}{1 + \xi_s}\frac{\rho_s}{\rho_z}} \sqrt{\frac{p_{rs} - p_s}{p_{rz} - p_s}}, \qquad (9.13)$$

gdzie $W_d = \frac{F_s}{F_z} = \left(\frac{d_s}{d_z}\right)^2$ wyróżnik konstrukcyjny dozownika,

d - średnica dyszy.

Różnica $p_{rz} - p_{rs}$ wynika z różnicy gęstości cieczy zasilającej i dozowanej

$$p_{rz} - p_{rs} = (\rho_s - \rho_z)\, g\, z, \qquad (9.14)$$

gdzie z - zmienna wysokość słupa cieczy dozowanej w pojemniku.

Wobec wiotkości przepony i możliwości przyjęcia przez nią różnych kształtów założono, że wysokość z stanowi średni słup cieczy wynikający z następującej zależności (przy czym pominięto zmniejszenie przekroju na końcach pojemnika oraz niewielkie wzniesienie strumienicy nad pojemnikiem):

$$G_s = \frac{\pi D^2}{4} z\, \rho_s,$$

a stąd

$$z = \frac{4\, G_s}{\pi D^2 \rho_s}, \qquad (9.15)$$

gdzie $G_s$ - masa dozowanej cieczy znajdującej się w pojemniku,

D - średnica wewnętrzna cylindrycznego pojemnika.

Podstawiając równanie (9.14) do równania (9.13), otrzymuje się stosunek ejekcji w postaci

$$M = W_d \sqrt{(1 - m^2)\frac{1 + \xi_z}{1 + \xi_s}\frac{\rho_s}{\rho_z}} \sqrt{1 - \frac{(\rho_s - \rho_z)\, g\, z}{p_{rz} - p_s}}. \qquad (9.16)$$

Gdy gęstości cieczy dozowanej i zasilającej są równe $\rho_s = \rho_z$, wówczas

$$M = W_d \sqrt{(1 - m^2)\frac{1 + \xi_z}{1 + \xi_s}} = \text{const}. \qquad (9.17)$$

Z równania (9.17) wynika, że w tym przypadku stosunek ejekcji jest stały i nie zależy od spadku ciśnienia w dyszy zasilającej, czyli od natężenia przepływu cieczy zasilającej $\dot{G}_z$.

Z równania (9.16) wynika, że stosunek ejekcji M zależy od wysokości słupa z dozowanej cieczy znajdującej się w pojemniku. Przy zupełnie napełnionym pojemniku, tj. $z_{max}$ dla $\rho_s > \rho_z$, stosunek ejekcji przyjmuje wartość minimalną $M_{min}$, zwiększając się do wartości maksymalnej $M_{max}$, gdy wysokść z dąży do 0. Gdy $\rho_s < \rho_z$, proces przebiega odwrotnie.

Jeśli spadek ciśnienia w dyszy zasilającej $p_{rz} - p_s$ jest dostatecznie duży w stosunku do spadku ciśnienia $p_{rz} - p_{rs}$, wynikającego z różnicy gęstości $\rho_s - \rho_z$, wpływ napełnienia dozownika staje się pomijalnie mały i praktycznie stosunek ejekcji M=const niezależnie od stopnia napełnienia pojemnika.

Wpływ napełnienia pojemnika na stosunek ejekcji M może zostać określony na podstawie równanie (9.16). Przykładowo dla przypadku $\rho_s > \rho_z$, oznaczając przy z=0

$$M_{max} = W_d \sqrt{(1 - m^2)\frac{1 + \xi_z}{1 + \xi_s}\frac{\rho_s}{\rho_z}} \qquad (9.18)$$

otrzymuje się

$$\frac{M_{min}}{M_{max}} = \sqrt{1 - \frac{(\rho_s - \rho_z)\, g\, z_{max}}{p_{rz} - p_s}}. \qquad (9.19)$$

Rozważania te są słuszne, gdy współczynniki uwzględniające stratę prędkości w dyszach: dozującej $\xi_s$ i zasilającej $\xi_z$ są stałe i niezależne od liczby Reynoldsa. Można tak przyjąć z pewnym przybliżeniem dla przepływu burzliwego. W przypadku gdy

$$Re = \frac{d\, c\, \rho}{\mu} < Re_{kr}, \qquad (9.20)$$

gdzie d - średnica dyszy,

c - prędkość przepływu cieczy,

$\rho$ - gęstość,

$\mu$ - współczynnik lepkości dynamicznej.

przepływ jest uwarstwiony i współczynniki strat rosną, gdy Re maleje. Wówczas stosunek ejekcji M jest zależny od masowego natężenia przepływu cieczy zasilającej $\dot{G}_z$.

Spadek ciśnienia $p_{rz} - p_s$ w dyszy zasilającej jest konieczny, gdyż umożliwia wprowadzenie cieczy dozowanej do cieczy zasilającej płynącej przewodem pod ciśnieniem. Jednak samo obniżenie ciśnienia wody zasilającej przeznaczonej następnie do zraszania jest zjawiskiem niekorzystnym, gdyż, jak już uprzednio zaznaczono skuteczność zraszania między innymi zależy od ciśnienia wody dopływającej do dysz zraszających.

W komorze mieszania i w dyfuzorze strumienicy następuje z kolei przyrost ciśnienia. Należy tak dobrać parametry konstrukcyjne strumienicy, by osiągnąć maksymalny przyrost ciśnienia [169,170,171,172], wówczas straty ciśnienia związane z dozowaniem będą minimalne. Najważniejszymi parametrami konstrukcyjnymi strumienicy są: moduł strumienicy m (równ.9.10) oraz wyróżnik konstrukcyjny strumienicy

$$W_s = \frac{F_z}{F_{km}} = \left(\frac{d_z}{d_{km}}\right)^2, \qquad (9.21)$$

gdzie $F_{km}$ - powierzchnia przekroju wylotowego komory mieszania.

## 9.4.2. Badania stoiskowe dozownika Dz-1A *)

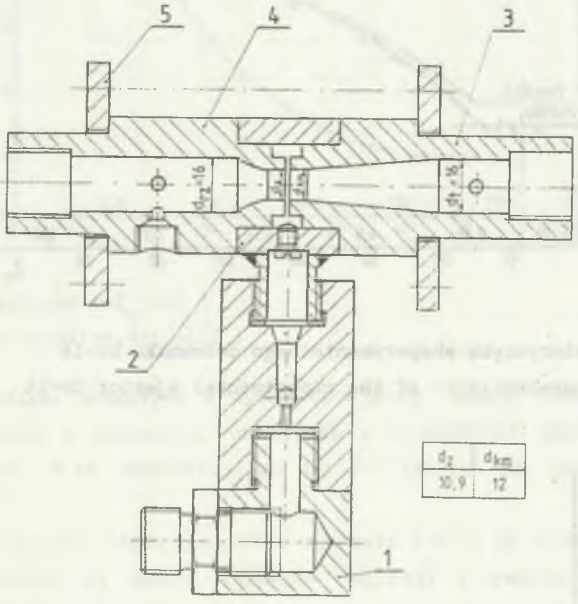
Stoisko pomiarowe składało się z eksperymentalnego dozownika DZ-1A, przepływomierza turbinkowego, baterii manometrów różnicowych, manometru sprężynowego, pompy S-12, kolumny rurowej, przewodów oraz zaworów dławiących i odcinających. Rys. 9.16 przedstawia rysunek konstrukcyjny badanej strumienicy doświadczalnej, wykonanej ze szkła organicznego. Dozowano ciekły zwilżacz Roksol $Z_1$ do wody wodociągowej.

Poniżej przedstawiono najważniejsze wyniki przeprowadzonych stoiskowych pomiarów dozowania. Pomiary przeprowadzono przy temperaturze otoczenia w zakresie 14,5 do 15,5 [$^0$C], przy średnim współczynniku lepkości dynamicznej $\mu_s$ = 0,0735 [Pa.s] i średniej gęstości $\rho_s$ = 1014 [kg/dm$^3$] badanego zwilżacza Roksol $Z_1$ (tabela 9.1).

*) opracowano na podstawie nie publikowanej pracy autora pt: "Przeprowadzenie badań laboratoryjnych i stoiskowych, analiza wyników pomiarów oraz wnioski końcowe i wytyczne do konstruowania" zawartej w opracowaniu ZKMPW. Gliwice 1972 [179e].

Rys. 9.17 przedstawia charakterystykę eksperymentalnego dozownika Dz-1A przy zastosowaniu dyszy zasilającej $d_z$=10,9[mm] oraz dyszy dozującej $d_s$=0,9[mm]. Takie wymiary dysz wybrano w drodze selekcji. Spełniają one założone wymagania dotyczące uzyskanego stosunku ejekcji i spadku ciśnienia wody zasilającej, związanego z dozowaniem. Wyznaczone masowe natężenie przepływu podano w [kg/min], ponieważ w tych jednostkach był wycechowany przepływomierz.

W zakresie natężeń przepływu wody zasilającej $\dot{G}_z \geq 63$[kg/min] uzyskano stały stosunek ejekcji niezależnie od $\dot{G}_z$ (rys. 9.17, zgodnie z równaniem



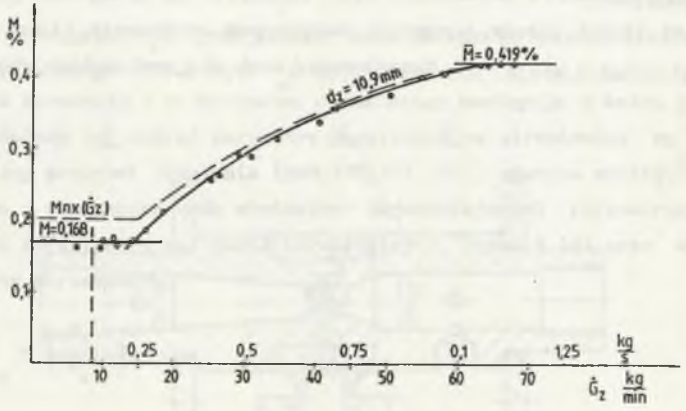

Rys. 9.16. Strumienica doświadczalna
Fig. 9.16. The experimental ejector

9.16) o wartości $M_1$ = 0,419[%] przy odchyleniu standardowym $\hat{S}$ =0,00114 i błędzie względem maksymalnej wartości δ=0,3[%].

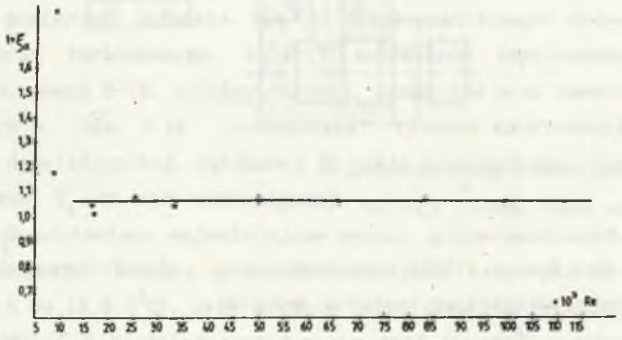
W wymienionym zakresie pracy dozownika zarówno w dyszy zasilającej $d_z$, jak i dozującej $d_s$ ma miejsce przepływ burzliwy przy stałych współczynnikach $\xi_z$ i $\xi_s$.

W zakresie natężeń przepływu wody zasilającej $\dot{G}_z$ = 14 do 63[kg/min] zmienia się stosunek ejekcji strumienicy w zakresie od M=0,168 do 0,419[%].

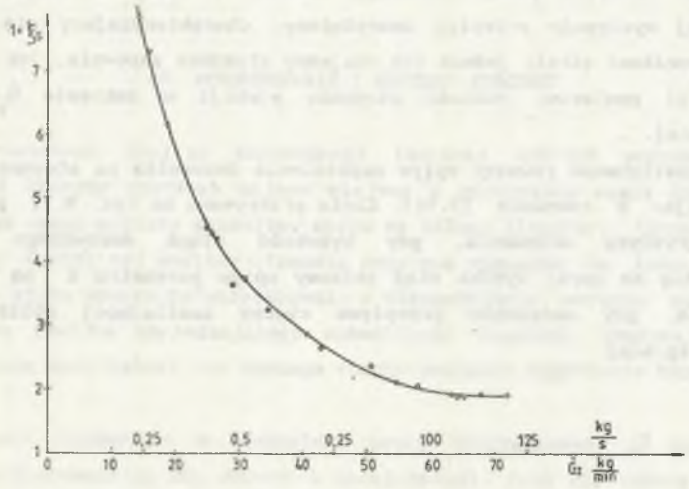
W tym zakresie pracy dozownika w dyszy zasilającej występuje przepływ burzliwy, przy stałym współczynniku strat $\xi_z$ (rys.9.18) niezależnym od liczby Re, a w dyszy dozującej przepływ jest uwarstwiony przy zmieniającym się współczynniku strat $\xi_s$ wraz z liczbą Re (rys.9.19). Współczynnik strat




Rys. 9.17. Charakterystyka eksperymentalnego dozownika Dz-1A
Fig. 9.17. The characteristic of the experimental ejector Dz-1A




Rys. 9.18. Zależność $1+\xi_s=f(Re)$
Fig. 9.18. The relation $1+\xi_z=f(Re)$




Rys. 9.19. Zależność $1+\xi_s = f(\dot{G}_z)$

Fig. 9.19. The relatiom $1+\xi_s = f(\dot{G}_z)$

$\xi_s$, poza stratami przepływu w dyszy dozującej, ujmuje również pewne inne straty przepływu w dozowniku, co wynika z systematyki jego wyznaczenia i dlatego na rys. 9.19 odniesiono go nie do liczby Re, lecz do natężenia przepływu $\dot{G}_z$.

W celu określenia błędu pomiaru w zakresie $\dot{G}_z$ = 14 do 63[kg/min] uzyskane wyniki oszacowano za pomocą równania regresji krzywoliniowej w postaci wielomianu trzeciego stopnia. Otrzymano równanie regresji o postaci:

$$M = 0,0056 + 1,49.10^{-2}\,\dot{G}_z - 2,06.10^{-4}\,\dot{G}_z^2 + 1,237.10^{-6}\,\dot{G}_z^3 \qquad (9.22)$$

gdzie

współczynnik korelacji $r = 0,998$,

odchylenie standardowe $S^* = 0,00425$,

błąd względem maksymalnej wartości $\delta = 1,05[\%]$.

Przy natężeniach przepływu $\dot{G}_z \leq 14$ [kg/min] stosunek ejekcji strumienicy M ma również wartość stałą w zakresie przeprowadzonych pomiarów i wynosi M = 0,168[%] przy $S^* = 0,005$, $\delta = 2,98$ [%].

W tym zakresie pracy dozownika zarówno w dyszy zasilającej, jak i dozującej występuje przepływ uwarstwiony, charakteryzujący się zmiennymi współczynnikami strat; jednak ich wzajemny stosunek zapewnia, jak to wykazały wyniki pomiarów, stałość stosunku ejekcji w zakresie $\dot{G}_z = 1,48$ do 14 [kg/min].

Przeanalizowano również wpływ napełnienia dozownika na stosunek ejekcji, korzystając z równanie (9.16). Linia przerywana na rys. 9.17 przedstawia charakterystykę dozowania, gdy wysokość słupa dozowanego zwilżacza zbliża się do zera; wynika stąd znikomy wpływ parametru z na dokładność dozowania, gdy natężenie przepływu cieczy zasilającej zbliża się do $\dot{G}_z = 63$[kg/min].

## 10. PODSUMOWANIE I WNIOSKI KOŃCOWE

Przeprowadzono analizę koniecznego łańcucha zdarzeń poprzedzającego wypadki i choroby zawodowe mające miejsce w górnictwie węgla kamiennego, biorąc pod uwagę możliwy szkodliwy wpływ na załogę litosfery, technosfery i atmosfery. Wyniki tej analizy stanowią podstawę rozważań na temat bezpieczeństwa, które oparto na wnioskowaniu z niespełnienia warunku koniecznego następstwa zdarzeń porzedzającego szkodliwość (wypadek, choroba zawodowa lub/i szkoda materialna), na obecnym etapie poznania zagrożenia bezwzględnego.

Zdarzenia zachodzące w środowisku pracy uporządkowano ze względu na: działanie kierownictwa ZG, dozoru i całej załogi, ruch ZG, roboty górnicze oraz zmiany parametrów środowiska pracy.

Na obecnym etapie poznania zagrożenia pyłowego wypadki lub/i choroby zawodowe implikuje półdeterministyczny łańcuch zdarzeń przedstawiający model zagrożenia względnego występującego w środowisku pracy. Zaprzeczenie półdeterministycznego łańcucha niepożądanych zdarzeń implikuje zaprzeczenie zarówno logiczne, jak i rzeczywiste rozpatrywanej szkodliwości dzięki zachodzącym zdarzeniom pożądanym.

Analiza zagrożenia pyłowego prowadzi do najbardziej złożonego modelu zagrożenia wypadkowego i chorobowego w górnictwie.

Przedstawiono dorobek autora w zakresie profilaktyki technicznej zorientowanej na strumień pyłu w momencie jego tworzenia i emisji do strumienia wentylacyjnego.

Rezultaty pracy potwierdzają przyjęte tezy i umożliwiają sformułowanie następujących wniosków:

1. Zagrożenie względne (faza $Za U_V Za P$) jest to stan w środowisku pracy charakteryzujący się deficytem bezpieczeństwa po stronie parametrów środowiska pracy lub/i czynnika ludzkiego w stosunku do ustanowionych poziomów bezpieczeństwa (rozdz.6), a to stwarza warunki progresywne niepożądanego następstwa zdarzeń prowadzącego do szkodliwości.
2. Dotrzymanie wszystkich nakazanych poziomów bezpieczeństwa $PB_{1:j}$ stanowi istotę fazy bezzagrożeniowej (BZa), którą determinuje zbiór zdarzeń BZa (wzór 6.7).
3. Wychodząc od wypadków i chorób zawodowych można określić konieczne łańcuchy zdarzeń $\mathcal{L}_{kw}, \mathcal{L}_{kch}$ oraz łańcuch globalny $\mathcal{L}_k$ warunkujące następstwo zdarzeń poprzedzające analizowaną szkodliwość. Zaprzeczenie koniecznego łańcucha zdarzeń implikuje jedynie logiczne zaprzeczenie niepożądanych skutków (wzór 5.29).
4. Aktualny stan wiedzy na temat zagrożenia pyłowego umożliwia zbudowanie półdeterministycznego łańcucha zdarzeń $\mathcal{L}$ przedstawiającego model globalnego zagrożenia pyłowego występującego w górnictwie (wzór 7.31).
5. Zaprzeczenie półdeterministycznego łańcucha zdarzeń $\mathcal{L}$ implikuje zaprzeczenie zarówno logiczne, jak i rzeczywiste rozpatrywanej szkodliwości na obecnym etapie poznania zagrożenia bezwzględnego i stanowi model celowej techniki bezpieczeństwa stosowanej w górnictwie w zakresie zagrożenia pyłowego (wzór 8.1).
6. Przyporządkowanie modelom zagrożenia i bezpieczeństwa grafu umożliwia lepsze przedstawienie łańcucha zachodzących zdarzeń (rys.7.1,7.2,7.3,8.1 i 8.3).
7. Model celowej techniki bezpieczeństwa może stanowić punkt wyjścia do analizy prospektywnej zagrożenia pyłowego, zmierzającej do ustanowienia nowych poziomów bezpieczeństwa $PB_{j+1}$ lub zaostrzenia już istniejących $PB_{1:j}$.
8. Analiza grafu bezpieczeństwa w zakresie pyłów wykazuje, że profilaktyka techniczna $PT_1$ zorientowana na strumień pyłu w momencie jego tworzenia i emisji do strumienia wentylacyjnego pozwala na możliwie wczesne przerwanie łańcucha zdarzeń poprzedzającego szkodliwość związaną z zagrożeniem pyłowym.

Można również sformułować wnioski szczegółowe wynikające z rozdziału 9:

9. Zastosowanie urządzeń zraszających wdrożonych przez autora do górnictwa zorientowanych na strumień pyłu umożliwia poprawę stanu bezpieczeństwa w

górnictwie przez zwiększenie skuteczności stosowanych metod zwalczania zapylenia.

10. Wdrożenie do górnictwa ciekłego zwilżacza Roksol $Z_1$ jako dodatku do wody zraszającej umożliwia zwiększenie skuteczności stosowanych urządzeń odpylających.
11. Zastosowanie dozownika ejektorowego DZ-1A umożliwia utrzymanie wymaganego stężenia zwilżacza w wodzie zraszającej.

## LITERATURA *)


1. Andrzejewski R., Gutowski W.: Fizyczne własności pyłów. Wyd. Śląsk. Katowice 1968,
2. Armbruster L., Breuer H., Reisner M.: Wirkungsbezogene Messung und Bewertung des Staubes im Steinkohlenbergbau. Glückauf nr 17, Essen 1983,
3. Armbruster L. i inni: Photometric Determination of Respirable Dust Concentration without elutriation of coarse particles. International Journal Devoted to the Measurement and Description of Particle and Bulk Properties in Disperse Systems. Wyd. Chemie Gmbh, Weinheim 1984,
4. Armbruster L. i inni: Technischer Stand des Labors zur zentralen Staubprobenauswertung und Tendenzen der Weiterentwicklung. Silikosebericht Band 15. Essen 1985,
5. Armbruster L. i inni: Übertätige Informationsverarbeitung beim Einsatz der Feinstaubmeßanlage FMA-TMS-1 im Steinkohlenbergbau. Silikosebericht Band 18. Essen 1991,
6. Bauer H. D.: Trennung staubreicher und -armer Zonen beim Einsatz von Teilschnittmaschinen. Anwendung der Luftschrankentechnik im Streckenvortrieb. Kompass. Bochum 1981.
7. Bauer H. D.: Staubstromteilung. Versuche zur Einschränkung der Staubausbreitung. Kompass. Bochum 1982,
8. Bauer H. D.: Entwicklung und Erprobung von haubenförmigen Staubschutzabdeckungen. Kompass. Bochum 1983,
9. Bauer H. D. Leichtmasken für den Steinkohlenbergbau. Kompass. Bochum 1982,


*) Literatura dotycząca 9 rozdziału została podana oddzielnie, w tym również dalsze pozycje autora.

10. Bauer H.D.,Werner W.,Fürst E.:Vergleichende Tragversuche mit Partikelfiltrierenden Atemschutzgeräten.Kompass.Bochum 1984,
11. Bauer H.D.:Staubbekämpfungsverfahren - Entwicklungen, Wirkungen und Ergebnisse.Führungskraft.Herne 1984,
12. Bądzelewicz H. i inni:Organizacja i taktyka w ratownictwie górniczym, Wyd.Śląsk, Katowice 1981,
13. Becker H.,Göretz H.,Kemper F.Staubbekämpfung bei der schneidenden Gewinnung. Silikosebericht Band 14. Essen 1983,
14. Bird F.E.,Gerein J.G.:Demage Control. New York 1966,
15. Bobrowski D.:Probabilistyka w zastosowaniach technicznych, WNT Warszawa 1980,
15a. Bradecki W.: Rola i cele MSHA. Bezpieczeństwo Pracy i Ochrona Środowiska Pracy w Górnictwie, nr 2, Katowice 1992,
16. Browaeys P.: Das belgische Auslösesperrsystem, Konzeption, Konstruktionsdaten, Technische Erprobung unter Tage.Informationstagung Entzündliche Stäube. Luksemburg 1981,
17. Byczkowska Z,Kieć E,Krasucki P.:Lecznictwo uzdrowiskowe w profilaktyce chorób zawodowych. Instytut Wydawniczy CRZZ, Warszawa 1977,
18. Cichowski E.:Metody zwalczania zapylenia w górnictwie za pomocą wody. Mechanizacja Górnictwa nr 3, Katowice 1970,
19. Cichowski E.:Problemy stosowania zwilżacza KBS przy zwalczaniu zapylenia w górnictwie. Prace ZKMPW Komunikat nr 91.Wyd.Śląsk Katowice 1974,
20. Cichowski E.:Analiza możliwości optymalnego wykorzystania urządzeń zraszających przy kombajnach, Bezpieczeństwo Pracy w Górnictwie, WUG, nr 2, Katowice 1975,
21. Cichowski E.:Zwalczanie zagrożenia pyłowego przy kombajnach przez zraszanie, ZN Politechniki Śląskiej, Górnictwo Z.118, Gliwice 1983,
22. Cichowski E.:Analiza pracy dozownika dyfuzyjnego z wymuszoną konwekcją. ZN Politechniki Śląskiej, Górnictwo Z.118, Gliwice 1983,
23. Cichowski E.: Dosieren fester Zusatzmittel ins fließende Wasser.Bergbau nr 10, Essen 1984,
24. Cichowski E.:Rozwój i zwalczanie zagrożenia wypadkowego w górniczym środowisku pracy. Bezpieczeństwo Pracy, WUG nr 4, Katowice 1984,
25. Cichowski E.: Analiza zagrożenia wypadkowego nagłym oberwaniem brył skalnych. ZN Politechniki Śląskiej, Górnictwo Z.138, Gliwice 1985,

26. Cichowski E.:Kierowany system zatrudnienia w aspekcie ochrony zdrowia załogi. Przegląd Górniczy nr 11/12, Katowice 1985,

27. Cichowski E.:Geneza choroby zawodowej a linie obrony BHP. Bezpieczeństwo Pracy w Górnictwie nr 2, Katowice 1985,

28. Cichowski E.,Szczurowski A.:Seminarium z Bezpieczeństwa i Higieny Pracy w Górnictwie. Skrypt Politechniki Śląskiej nr 1230, Gliwice 1985,

29. Cichowski E.: Modell der im Steinkohlenbergbau auftretenden Gefährdungen. Glückauf-Forschungshefte nr 1, Essen 1985,

30. Cichowski E.:Zwalczanie zapylenia w wysokozmechanizowanych wyrobiskach ścianowych i chodnikowych. Mechanizacja i Automatyzacja Górnictwa nr 9, Katowice 1985,

31. Cichowski E.:Technical causes of accident hazzards in the hard coal industry. Materiały konferencyjne II.International Symposium on Occupational Health in Mining and Tunnelling. Praga 1986,

32. Cichowski E.,Krupa A.:Problemy synchronizacji odpylacza z przyjętymi systemami przewietrzania chodników, Wydawnictwo Specjalne Problemu Resortowego MGiE 119, Gliwice 1987,

33. Cichowski E.,Szymczyk Z.: Analiza stref zabezpieczających opylonych pyłem kamiennym, Wydawnictwo Specjalne Problemu Resortowego MGiE 119, Gliwice 1987,

34. Cichowski E.: Gasdurchlässigkeit von Kohlenproben aus Auswurfzonen. Bergbau nr 5, Essen,RFN 1987,

35. Cichowski E.: Modell der im Steinkohlenbergbau vorgenommenen Sicherheitsmaßnahmen. Materiały konferencyjne: III.Internationales Symposium über die Heranbildung der Werktätigen im Bergbau und im Grubenrettungswesen zur Arbeitssicherheit.Ostrawa 1987,

36. Cichowski E.:Modell der im polnischen Steinkohlenbergbau auftretenden Unfallgefährdungen und der Sicherheitsmaßnahmen. Bergbau nr 11, Essen 1989,

37. Cichowski E.: Wybieg chodnika drążonego kombajnem przy zastosowaniu odpylacza w układzie z wentylacją odrębną kombinowaną, Mechanizacja i Automatyzacja Górnictwa nr 7, Katowice 1989,

38. Cichowski E.:Postęp dobowy chodnika drążonego kombajnem w kopalni metanowej przy zastosowaniu odpylacza w układzie z wentylacją odrębną kombinowaną. Mechanizacja i Automatyzacja Górnictwa nr 11, Katowice 1989,

39. Cichowski E.:Modell der im polnischen Steinkohlenbergbau auftretenden Unfallgefährdungen und der vorgenommenen Sicherheitsmaßnahmen. Materiały konferencyne: 21.Deutscher Kongreß Arbeitsschutz + Arbeitsmedizin. Düsseldorf 1989,

40. Cichowski E.: Analiza zagrożenia a projekt poprawy warunków bezpieczeństwa. ZN Politechniki Śląskiej, Górnictwo Z.188 Gliwice 1990,

41. *) Cichowski E.:Zastosowanie odpylacza w układzie z wentylacją odrębną kombinowaną przy kombajnowym drążeniu chodników. ZN Politechniki Śl. Górnictwo Z.188 Gliwice 1990,

42. Collinson J.L.,Pye R.T.:Erfahrungen mit dem Einsatz von Auslösesperren im Vereinigten Königsreich. Informationstagung Entzündliche Stäube. Luksemburg 1981,

43. Compes P.: Grundlagen der Sicherheitstechnik. Universität Gesammthochschule. Fachbereich Sicherheit.Wuppertal 1983/1984r,

44. Cybulski W.:Wybuchy pyłu węglowego i ich zwalczanie, Wyd.Śląsk, Katowice 1973,

45. Cybulski W.:Graniczne stężenie wybuchowe pyłu węglowego jako funkcja jego rozdrobnienia i zawartości w nim części niepalnych stałych. GIG Komunikat nr 536. Katowice 1971r,

46. Culmann J.:Einführung einer Lärmkartei bei der Saarberg. Kolloqium: Lärmminderung am Arbeitsplatz. Dortmund 1985r,

47. Dorsch F.:Psychologisches Wörterbuch. Hamburg Berlin 1963,

48. Drzęźla B.,Mendecki A.:Nowe metody poziomej lokalizacji ognisk wstrząsów górotworu. ZN Politechniki Śl.Górnictwo Z.558 Gliwice 1976,

49. Drzęźla B. i inni:Analiza przestrzennych rozkładów wstrząsów górniczych w rejonie wyrobisk ścianowych prowadzonych z podsadzką hydrauliczną. ZN Politechniki Śląskiej. Górnictwo Z.188 Gliwice 1990,

50. Dwiliński L.:Próba opisu eksploatacji obiektu technicznego.Prakseologia nr 3-4, Warszawa 1985,

51. Dwiliński L.:Eksploatacja obiektu technicznego jako działanie. Prakseologia nr 2, Warszawa 1984,

52. Dąbrowski M.:Wpływ krótkotrwałego łącznego działania hałasu, wysiłku fizycznego i obciążenia cieplnego na układ krążenia i termoregulację. Ergonomia PAN T.14 nr 2, Warszawa 1991,

*) Dalsze pozycje autora 167,169-178,179a-k,182c,186a-m,188a-q

53. Fal J.G.:Zapobieganie wypadkom, doświadczenia i perspektywy. Instytut Wydawniczy CRZZ, Warszawa 1980,

54. Fortschritte in Staubtechnik sowie Diagnostik und Therapie beruflich bedingter Lungenerkrankungen 1948-1985. Silikose-Forschungsinstitut. Bochum 1985,

54a. Frołow A.G.:K metodikje reszenja zadaczi uweliczenja wychoda krupnych kłassow i umeszenija pyleobrazowanija pri dobycze ugla. "Nedra", Moskwa 1970,

55. Frycz A.:Klimatyzacja kopalń.Wyd.Śląsk, Katowice 1981,

56. Frycz A.,Kozłowski B.:Przewietrzanie kopalń metanowych.Wyd.Śląsk. Katowice. 1979,

56a. Fuchs N.K.:The Mechanics of Aerosols.Dover Publications.New York 1964,

57. Funke B.,Große Wilde W.:Kurvengängiger Gurtförderer mit Standortbauelementen.Glückauf-Forschungshefte nr 3, Essen 1992,

58. Gil H.:Analityczna metoda prognozowania i zwalczania tąpań w kopalniach.Przegląd Górniczy nr 9, Katowice 1977,

59. Gil H., Świdziński A.:Wyrzuty gazów i skał. Politechnka Śląska skrypt nr 1366, Gliwice 1988,

60. Giza T.:Zależność prędkości posuwu kombajnu ścianowego i uziarnienia od stanu ostrzy noży na organie urabiającym.ZN Polititechniki Śl. Górnictwo Z.130, Gliwice 1985,

60a. Giza T.:Wpływ prędkości posuwu kombajnu na wielkość zapylenia w ścianie.Konferencja Naukowa. Działalność Górnictwa Węgla Kamiennego, Gliwice 1992,

61. Greenough G.K., Bankroft B.: The dust helmet in mining. Research Paper 12. Health and Safety Executive, Sheffield 1980,

62. Günter L.:Persönliche Schutzausrüstung im Steinkohlenbergbau und ihre Auswirkungen.Kompass nr 2, Bochum 1983,

63. Henke B.,Betting K.,Stockmann H.W.: Kohlenstosstränkem. Silikosebericht Band 18, Essen 1991,

64. Hankus J.:Problemy bezpieczeństwa lin wyciągowych wyrównawczych. Przegląd Górniczy 4, Katowice 1992,

65. Henke B.,Löhning D,:Staubbekämpfung bei der schneidenden Gewinnung. Silikosebericht Band 18, Essen 1991,

66. Henke B.,Ardelt M.G.:Staubbekämpfung bei der schälenden Gewinnung. Silikosebericht Band 18, Essen 1991.

67. Henke.,Thiemann M.:Staubbekämpfung am Schreitausbau. Silikoseberichl Band 18, Essen 1991,

67a Hepburn H.:Some theoretical aspects of industrial cautions - the accident sequence.Occupacional Safety and Health, Geneva 1953,

67b. Hinds W.C.:Aerosol Technology.John Wilen & Sons,New York 1982,

68. Hurley J.F.:Simple Pneumoconiosis and exposure to respirable dust: ellationship from 25 years research at ten british coal mines. Institute of Occupational Medicine. Report no TM/79/13.Edinburgh 1979r,

69. International Labour Office:Guide to the prevention and suppression of dust in mining, tunnelling and quarring, Genewa 1965,

70. Janota J. i inni:Wpływ odstawy urobku na wzrost osiadania pyłu wg jego uziarnienia. GIG Komunikat nr 563, Katowice 1972,

71. Jethon Z.,Krasucki P.,Rogoziński A.:Normy fizjologiczno-higieniczne w w medycynie przemysłowej. PZWL, Warszawa 1982,

72. Juda J.,Nowicki M.:Urządzenia odpylające.PWN. Warszawa 1979,

73. Karpiński J.:Zależności przyczynowe w badaniach diachronicznych. Prakseologia nr 4, Warszawa 1978,

74. Kiliński A.:O prawie iloczynu. Prakseologia nr 32, Warszawa 1969,

75. Klinkner H.G.:Beitrag zum Stand und zu Problemen des Staub- und Lärmschutzes bei der Saarbergwerke AG. Kompass nr 9, Bochum 1983,

76. Kotarbiński T.:Traktat o dobrej robocie, Wyd.PAN, Wrocław 1975,

77. Kowalski W.:Wpływ umiarkowanego stresu termicznego na koszt fizjologiczny oraz sprawność umysłową i psychomotoryczną. Wyd. PAN. Ergonomia nr 2, Warszawa 1991,

78. Kozielecki J.:Koncepcje psychologiczne człowieka, PIW, Warszawa 1980,

79. Kozłowski B.,Myszor H.,Sobala J.: Wybuchy w kopalniach. Skrypt Politechniki Śl. nr 1362, Gliwice 1989,

80. Kozłowski B.: Prognozowanie zagrożeń metanowych w kopalniach głębinowych. Skrypt Politechniki Śl.nr 1300, Gliwice 1986,

81. Kozłowski B.Sobala J.:Walka z pyłem węglowym w kopalniach węgla. Wyd. Śląsk. Katowice 1970,

82. Kozłowski B.:Zagrożenie wyrzutami gazów i skał w górnictwie węglowym. PWN. Warszawa-Kraków 1980,

83. Kozłowski B.: Gazy kopalniane - prognoza, kontrola, zwalczanie. PWN. Kraków-Warszawa 1982,

84. Krajewski K. i inni:Czas zabezpieczenia strefy opylonej pyłem kamiennym. Przegląd Górniczy nr 2, Katowice 1980,

85. Krajewski K. i inni: Określenie ilości osadzonego pyłu węglowego w chodnikach przyścianowych w zależności od kierunku i prędkości postępu ściany. Przegląd Górniczy nr 7-8, Katowice 1980,

86. Krasucki F.,Musioł K.:Metanometria i zabezpieczenia metanometryczne w kopalniach. Skrypt Politechniki Śl. Gliwice 1981,

87. Krasucki F.:Zagrożenia elektryczne w górnictwie. Wyd.Śląsk. Katowice 1984,

88. Krzemień S.: Teoretyczne podstawy określania miar zagrożenia bezpieczeństwa w wyrobiskach górniczych. ZN Politechniki Śl. Z.204, Gliwice 1992,

89. Krzemień S.:Systemowo-informacyjne modele oceny stanu zagrożenia wstrząsami górniczymi w kopalniach węgla kamiennego. ZN Politechniki Śl. Górnictwo Z.198, Gliwice 1991,

90. Krzysztolik P.:Hełmy przeciwpyłowe i warunki ich stosowania. Sympozjum. Dolnośląskie Gwarectwo Węglowe. Wałbrzych 1987,

91. Krzysztolik P.,Lebecki K., Rosmus P.: Porównanie własności fizykochemicznych pyłów kopalń o różnym stopniu występowania pylicy. Sympozjum Dolnośląskie Gwarectwo Węglowe. Wałbrzych 1987,

92. Krzysztolik P.,Piskorska-Kalisz Z.:Ocena istniejącej techniki pomiaru zapylenia powietrza kopalnianego. Seminarium ROW. Jastrzębie 1987,

93. Kuratowski K.:Wstęp do teorii mnogości i topologii. PWN, Warszawa, 1965,

94. Leniewicz E.:Teoria zdarzeń a wybrane zagadnienia teorii systemów, Nauka, Technika, Systemy. Wyd.Ossolineum, Wrocław 1981,

95. Leniewicz E.:Teoria zdarzeń w ujęciu prakseologicznym, Prakseologia nr 1, Warszawa 1975,

96. Leniewicz E.:Zasada wyznaczania celów. Prakseologiczne zastosowanie teorii zdarzeń. Prakseologia nr 2, Warszawa 1976,

96a. Lipowczan A.:Zagrożenie hałasem w górnictwie. Bezpieczeństwo pracy i ochrona środowiska pracy w górnictwie nr 2, Katowice 1992,

97. Marcol J. i inni:System zabezpieczeń oddziału przed przeniesieniem wybuchu pyłu węglowego. Dokumentacja pracy badawczo-rozwojowej. GIG KD Barbara. Katowice 1983,

98. Marek K.:Wpływ środowiska pracy górnika na układ oddechowy w świetle kompleksowych badań czynnościowych. Biuletyn IMP. Katowice 1968,

98a. Marek K.:Kliniczna patologia zawodowa, PZWL, Warszawa 1982,

99. Mruk K.: Metody oceny wpływu czynników organizacyjnych i sezonowych z uwzględniem chronobiologii i biometeorologii człowieka na stan bezpieczeństwa pracy w kopalniach podziemnych. ZN AGH nr 156, Kraków 1990,

100. Muszewski J.: Bezpieczeństwo konstrukcji budowlanych. Wyd. Arkady, Warszawa 1970,

100a. Muschick E.: Vorschlag eines mathematischen Kompromisses für eine effektive Dimensionierung elektrischer Energieversorgungsanlagen. Materiały z Międzynarodowego Sympozjum. Jakość zasilania układów sieciowych. Politechnika Śl., Gliwice 1986,

101. Nieden E.: Gesundheitsschutz durch Arbeitseinsatzumlenkung. Silikosebericht. Band 12, Essen 1979,

102. Noak K. i inni: Neuere Erkenntnisse auf dem Gebiet der Gasausbruchverhütung. Bergbau 6. Essen 1992,

103. Nowakowska M.: Teoria działania: algebra celów i algebra sposobów. Prakseologia nr 1, Warszawa 1975,

104. Parysiewicz S.: Elementy decyzyjne dla eksploatacji pokładów węglowych w warunkach dużych wymogów ochrony powierzchni. Przegląd Górniczy nr 12, Katowice 1991,

105. Pasenkiewicz K.: Logika ogólna. PWN, Warszawa 1968,

106. Pałasz M., Grabowski J.: Eksploatacja pokładu silnie nachylonego z zastosowaniem zmechanizowanego kompleksu ścianowego KWK Postańców Śl., Przegląd Górniczy nr 2, Katowice 1992,

107. Pawiński J., Roszkowski J., Strumiński J.: Przewietrzanie kopalń. Wyd. Śląsk, Katowice 1978,

108. Pelc J., Przełęcki M., Szaniawski K.: Prawa Nauki. PWN, Warszawa 1957,

109. Piskorska-Kalisz Z., Prażak M.: Ocena granicy przedziałów tolerancji dopuszczalnych wartości zapylenia powietrza kopalnianego. Przegląd Górniczy nr 2, Katowice 1973,

110. Płodowski T.: Prawo górnicze. Wydawnictwo Geologiczne, Warszawa 1982,

111. Popa C.: Teleologia, czyli logiczna teoria celów. Prakseologia nr 1, Warszawa 1980,

112. Pszczółowski T.: Celowość, skuteczność, efektywność. Prakseologia nr 3, Warszawa 1977,

113. Pszczółowski T.: Dylematy sprawnego działania. Wiedza Powszechna, Warszawa 1988,

114. Przybyła H.:Rola ryzyka w planowaniu produkcji górniczej i jego związki ze strategią prowadzenia robót górniczych. Przegląd Górniczy nr 4, Katowice 1991,

115. Przybyła H.:Problemy ryzyka w teorii decyzji.Sympozjum Naukowe Katedry Organizacji i Ekonomiki Górnictwa Politechniki Śl.pt Ryzyko górnicze i jego granice. Gliwice 1992,

116. Reisner M.:Ergebnisse epidemiologischer Untersuchungen für den Schutz vor Staublungenerkrankungen. Glückauf nr 113, Essen 1977,

117. Reisner M.,Armbruster L.,Kühn L.:Untersuchungen zum Einfluß der Korngröße und des Mineralgehaltes auf die spezifische Schädlichkeit von Feinstäuben des Steinkohlenbergbaus.Silikosebericht Band 15, Essen 1985,

118. Robichaud L.,Boisvert M.,Robert J.:Grafy przepływu sygnału. PWN.Warszawa 1968,

119. Röbke R. i inni:Verhaltensvariabilität des Menschen als Unfallursache. Forschungsbericht nr 113, Dortmund 1973,

120. Rozmarynowicz M.,Horak J., Jankowski K.:Ochrona dróg oddechowych. Instytut Wydawniczy CRZZ, Warszawa 1978,

121. Ryncarz T.:O systematycznej klasyfikacji zagrożeń występujących w górnictwie podziemnym. Górnictwo. Rok 7, Zeszyt 3, Kraków 1983,

122. Seewald H.i inni:Laboruntersuchungen für die Eignung von Zusatzmitteln zur Verbesserung der Staubbekämpfung mit Wasser - Zusammenfassende Darstellung der Untersuchungen und Bewertung der Ergebnisse. Silikosebericht Band 15, Essen 1985,

122a. Sedlaczek J.:Rozwiązania stosowane w kombajnach ścianowych dla zmniejszenia zagrożeń metanowych. XIV Tydzień Techniuki, ROW, Moszczenica 1988,

123. Siebers U.:Bedeutung und Stand der ortsfesten $CH_4$ Überwachung in den Wettern von Steinkohlenbergwerken in Nordreihn-Westfalen Bergbau. Bergbau nr 6, Essen 1992,

124. Sikora W.:Wyposażenie techniczne przodków ścianowych o wysokiej koncentracji wydobycia.Przegląd Górniczy nr 5, Katowice 1992,

125. Skowronek J.,Łagiewa M.:Kontrola i profilaktyka zagrożenia radiacyjngo w górnictwie Francji.Przegląd Górniczy nr 9, Katowice 1991,

126. Skowronek J.,Łagiewa M:Wpływ intensyfikacji przewietrzania wyrobisk ścianowych z zawałem stropu na stężenie radonu i jego pochodnych. Przegląd Górniczy nr 5, Katowice 1991,

127. Skiba R.: Taschenbuch Arbeitssicherheit. Erich Schmidt Verlag, Bielefeld 1985,

128. Skiba R.: Stolpern und Ausrutschen. Humane Produktion. Humane Arbeitsplätze nr 10, Frankfurt a.M. 1983,

129. Słownik języka polskiego. PWN, Warszawa 1978,

130. Słownik wyrazów obcych. PWN, Warszawa 1971,

130a. Słupecki J., Borkowski L.: Elementy logiki matematycznej i teorii mnogości. PWN, Warszawa 1984,

131. Smółka J.: Ocena zagrożeń tąpaniami. ZN Politechniki Śl. Górnictwo Z. 188, Gliwice 1990,

132. Sobala J.: Doskonalenie profilaktyki pyłowej w przemyśle węglowym. XIII Tydzień Techniki ROW, Rybnik 1987,

132a. Sobala J.: Wybrane zagadnienia z zakresu wybuchów pyłu węglowego w górnictwie węgla kamiennego. Biuletyn Informacyjny nr 7, CSRG, Bytom 1987,

133. Sobala J.: Rozszerzenie zakresu stosowania górniczych materiałów wybuchowych w kopalniach węgla kamiennego. Przegląd Górniczy nr 4, Katowice 1981,

133a. Stockmann H.W., Henke B.: Entstaubungs- und Filtertechnik. Silikosebericht Band 18, Essen 1991,

133b. Stolecki M.: Przenoszenie wybuchu pyłu węglowego w podścianowych chodnikach taśmowych. GIG. Praca doktorska 1977,

133c. Stolecki M.: Badania mieszanin pyłowych nagromadzonych w strefach zabezpieczających wyrobiska ścianowe. Prace GIGu Komunikat 706. Katowice 1979,

133d. Strumiński A.: Zwalczanie pożarów podziemnych w kopalniach. Wyd. Ossolińskich. Wrocław 1987,

134. Studenski R.: Teorie przyczynowości wypadkowej i ich empiryczna weryfikacja. GIG, Katowice 1986,

135. Studenski R.: Wypadkowość w głębinowych kopalniach węgla kamiennego. Przegląd Górniczy nr 4, Katowice 1991,

136. Sułkowski J.: Wpływ prędkości prądu powietrza na zapylenie powietrza w ścianie. ZN Politechniki Śl. Górnictwo Z. 27, Gliwice 1967,

137. Sułkowski J.: Metody odwzorowania i miary struktur kopalnianych sieci wentylacyjnych. ZN Politechniki Śl. Górnictwo Z. 115, Gliwice 1982,

138. Szczurowski A.: Wprowadzenie do teorii powstawania wypadków. Wyd. PAN, Wrocław 1983,

139. Szczurowski A.: Metoda badania wypadków. ZN Politechniki Śl. Górnictwo Z.118, Gliwice 1985,

140. Szczurowski A. i inni:Wybrane zagadnienia bezpieczeństwa w górnictwie. Skrypt uczelniany Politechniki Śl nr 1317, Gliwice 1987,

141. Szczurowski A.: O niektórych aspektach zagrożeń w górnictwie.Przegląd Górniczy nr 6, Katowice 1987,

142. Szczurowski A.:Zagrożenia techniczne.ZN Politechniki Śl. Górnioctwo Z. 138, Gliwice 1985,

143. Szczurowski A.:Katastrofy w polskim górnictwie węgla kamiennego. Przegląd Górniczy nr 7, Katowice 1991,

144. Sztelak J.:Hydrologia górnicza i sposoby zwalczania zagrożeń wodnych w kopalniach podziemnych. Skrypt uczelniany Politechniki Śl nr 1343, Gliwice 1987,

145. Szymczyk Z. i inni:Ocena stanu zagrożenia wybuchem pyłu węglowego na podstawie intensywności osadzania się pyłu w wyrobiskach górniczych. Przegląd Górniczy nr 7-8, Katowice 1979,

146. Świetlik M.:Wpływ warunków odpalania i budowy materiałów wybuchowych na zawartość składników produktów detonacji. Prace GiGu Komunikat nr 767, Katowice 1991,

147. Tausz K.,Nowak K.:Poziom bezpieczeństwa i autorytet dozoru. Przegląd Górniczy nr 8, Katowice 1992,

148. Thieman M.,Armbruster L.,Robock K:Beurteilung von Staubquellen und der Wirksamkeit technischer Staubbekämpfungsmaßnahmen durch Feinstaubmessungen. Silikoseberichт Band 18, Essen 1991,

149. Trajdos T.:Matematyka dla inżynierów. WNT, Warszawa 1974,

150. Trutwin W.:Recyrkulacja powietrza w gazowym wyrobisku. Archiwum Górnictwa tom 26, zeszyt 2, Kraków 1981,

151. Trutwin W.:Wpływ warunków przewietrzania na stężenie metanu w wyrobiskach kopalnianych.Archiwum Górnictwa tom 11, zeszyt 2, Kraków 1972,

152. Valentin H. i inni:Medycyna pracy.PZWL. Warszawa 1985,

153. Vekeny H.:Die quantitative Untersuchung einer Silikosegefahr in den Pecser Kohlengruben. Staub-Reinhalt,Luft nr 10, Sankt Augustin 1981,

154. Wacławik J.,Roszczynalski W.:Aerologia górnicza.WNT, Warszawa 1983,

155. Wanat J.:Bezpieczeństwo i higiena pracy. Wyd.Śląsk, Katowice 1974,

156. Werner W.:Entwicklung auf dem Gebiet der Leichtmasken.VI Internationale Pneumokoniosekonferenz.Bochum 1983.

157. Werner W.,Bauer H.D.:Kenndaten von Wasserdüsen für die nasse Staubbekämpfung im Bergbau.VI Internationale Pneumokoniosekonferenz. Bochum 1983,

158. Wilson R.J.:Wprowadżenie do teorii grafów. PWN, Warszawa 1985,

159. Witkowska H.:Opracowanie metodologicznych podstaw analizy przyczyn wypadków przy pracy. CIOP, Warszawa 1977,

160. Zajączkowski J.:Odpylanie w przemyśle.Wyd.Arkady. Warszawa 1971,

161. Żernik W.:Postępowanie w sprawie świadczeń z tytułu wypadków przy pracy i chorób zawodowych. Instytut Wydawniczy CRZZ, Warszawa 1979,

162. Zbiór przepisów prawa górniczego.SITG, Katowice 1979.

## LITERATURA DO ROZDZIAŁU 9

163. Bauer H.D.,Klinkner H.G.:Die Wirksamkeit der oberflächenaktiver Stoffe bei der nassen Staubbekämpfung an Walzenschrämmladern. Glückauf 5, Essen 1971,

164. Bauer H.D.:Die Bedüsung des Räumschildes eine neue Möglichkeit der Staubbekämpfung beim Einsatz von Walzenschrämladern.Bericht des Silikoseforschungsinstitutes, Bochum 1972,

165. Bauer H.D.:Untersuchungen zur Steigerung der Wirsamkeit des an Walzenschrämladern eingestzten Bedüsungswassers. Sonderdruck Bergbau nr 6, Bochum 1978,

166. Bauer H.D. i inni:Untersuchungen zur Verminderung der Staubentwicklung an Schlagwalzenbrechern.Kompass nr 3, Bochum 1977r,

167. Bojarek T.,Cichowski E.:Zwilżalność pyłu węglowego wodą kopalnianą. Mechanizacja Górnictwa nr 6, Gliwice 1971,

168. Breuer H.:Untersuchungen über den Wirkungsgrad der Staubniederschlagung durch Versprühen von Wasser mit Flachstrahldüsen. Untersuchungen auf dem Gebiet der Staub- und Silikosebekämpfung im Steinkohlenbergbau. Detmold RFN 1967,

169. Cichowski E.:Analiza wodnej pompy strumieniowej o małych stosunkach ejekcji (praca doktorska).Politechnika Śl. Wydział Mechaniczno-Energetyczny. Gliwice 1967,

170. Cichowski E.:Analiza wodnej pompy strumieniowej o małych stosunkach ejekcji.ZN Politechniki Śl.Energetyka z.29, Gliwice 1968,

171. Cichowski E.:Pompy strumieniowe o małych stosunkach ejekcji. Prace ZKMPW Z.67.Wyd.Śląsk, Katowice 1969,

172. Cichowski E.: Adaptation of Venturi tubes for dosage of small quantities of liquid. Materiały konferencyjne: III.Conference on Fluid Mechanics and Fluid Machinery. Budapeszt 1969,

173. Cichowski E.,Jagoda L.:Badanie nowego tarczowego układu zraszającego dla kombajnu węglowego. Przegląd Górniczy nr 3, Katowice 1975,

174. Cichowski E.,Dębiec J.,Jagoda L.: Wyznaczenie charakterystyk eksploatacyjnych nowego układu zraszajacego do kombajnów węglowych. Przegląd Górniczy nr 1, Katowice 1978,

175. Cichowski E.:Próba wyznaczenia współczynnika przepuszczalności skał przy przepływie promieniowym. ZN Politechniki Ślaskiej.Górnictwo Z.99, Gliwice 1979,

176. Cichowski E.:Design parameter choice of an air sucking water whirl nozzle, Materiały konferencyjne:VI.Conference on Fluid Mechanics and Fluid Machinery. Budapeszt 1979,

177. Cichowski E.:Badanie sprawności zraszania pyłów unoszących się w powietrzu wodnym roztworem środków powierzchniowo aktywnych. Archiwum Górnictwa tom 26, zeszyt 2, Kraków 1981,

178. Cichowski E.:The influence of physical properties of water on the suppression of dust by water spray, Materiały konferencyjne: I.International Symposium on Occupational Health and Safety in Mining and Tunnelling. Praga 1982,

179. Dokumentacje:

a. Cichowski E.(konstruktor prowadzący):Dokumentacja techniczna ZKMPW pt: Urządzenie zraszające Zr-1 i Zr-1. Gliwice 1967,

b. Cichowski E.(konstruktor prowadzący):Dokumentacja techniczna ZKMPW pt.Dozownik ciekłego zwilżacza KBS typu Dz-1.Gliwice 1969,

c. Cichowski E.(konstruktor prowadzący):Dokumentacja techniczna ZKMPW pt: Filtr szybkooczyszczalny do wody zraszającej typu FSO, Gliwice 1969,

d. Cichowski E.(konstruktor prowadzący):Dokumentacja techniczna ZKMPW pt: Dysze zraszające typu DP i DS. Gliwice 1970,

e. Cichowski E.(główny autor):Badania laboratoryjne i stoiskowe w zakresie urządzeń odpylających, analiza wyników pomiarów, wnioski końcowe i wytyczne do konstruowania.Opracowanie ZKMPW stron 292.Gliwice 1972,

f. Cichowski E.(główny autor): Badania selekcyjne oraz dobór i wdrożenie nowych środków fizykochemicznych. Sprawozdanie ZKMPW stron 31. Gliwice 1973,

g. Cichowski E.(konstruktor prowadzący): Dokumentacja techniczna ZKMPW pt: Dozownik ciekłego zwilżacza Roksol $Z_1$ typu Dz-1A, Gliwice 1973,

h. Cichowski E. (główny autor): Badania modelowe strumienicy wodno-powietrznej oraz dysz zraszających DPZ i DSZ, sprawozdanie ZKMPW stron 28. Gliwice, 1974,

i. Cichowski E.(konstruktor prowadzący): Dokumentacja techniczna ZKMPW pt: Samooczyszczalne dysze zraszające do kombajnu typu DPZ i DSZ. Gliwice 1974,

j. Cichowski E.(konstruktor prowadzący): Dokumentacja techniczna KOMAGu pt.Uniwersalne urządzenie zraszające do kombajnów ścianowych typu AQUA-1. Gliwice 1975,

k. Cichowski E.(główny autor):Badanie prototypu uniwersalnego urządzenia zraszającego AQUA-1.Sprawozdanie KOMAGu stron 23. Gliwice 1976,

l. Cichowski E.:Ocena środków zwilżających stosowanych w górnictwie. Zespół Rzeczoznawców SITG, stron 40. Katowice 1979,

m. Cichowski E.(główny autor):Wytyczne obniżenia stężenia zapylenia powietrza w wysokozmechanizowanych wyrobiskach ścianowych przez optymalizację zastosowanych urządzeń zraszających i odpylających. Opracowanie Instytutu Techniki Eksploatacji Złóż, stron 85. Gliwice 1990,

n. Głośnicka M.i inni:Roksol $Z_1$-zwilżacz dla górnictwa.Zakład Środków Powierzchniowo Czynnych ICSO, Blachownia 1971,

o. Karowiec K.:Doskonalenie urządzeń wodnych i wodno-powietrznych oraz technologia ich stosowania.Sprawozdanie nr 9, KOMAG,Gliwice 1984,

p. Wyniki badań układu zraszającego Zr-1 i Zr-2 konstrukcji ZKMPW. GIG.KD Barbara, Mikołów 1967,

r. Richtlinien für die Errichtung, den Betrieb und die Überwachung von Sonderbewetterungsanlagen in Grubenbauen des Steinkohlenbergbaus. Saarbrücken 1980,

s. Ocena narażenia zawodowego w zakładach podległych Urzędom Górniczym w roku 1987.Główny Inspektor Sanitarny, Warszawa 1988,

180. Hamilton R.,French A.G,:Dust control on longwall coalfaces. Minig Technology nr 12 z 1982,

181. Graumann K.: Probleme der Sonderbewetterung bei maschinellem Streckenvortrieb. Glückauf nr 6, Essen 1976,

182. Instrukcje, poradniki, katalogi, normy

a. Niemczyk B.: Automatyczne urządzenie zraszające ROSA. Poradnik ZKMPW nr 268. Gliwice 1974,

b. Prospekt firmy Hölter GMBH: Im Dienste des Umweltschutzes. Gladbeck 1987,

c. Cichowski E.: Dozownik Dz-1. Poradnik nr 202. ZKMPW. Gliwice 1969,

d. Sławek K.: Urządzenia do nawilgacania pokładów węglowych NW-3 i NW-4. Poradnik ZKMPW nr 263. Gliwice 1974,

e. Urządzenia do zwalczania zagrożenia pyłowego w górnictwie. Katalog Centrum Mechanizacji Górnictwa KOMAG, Gliwice 1976,

f. Urządzenia do zwalczania zagrożeń pyłowych w górnictwie oraz Aparatura do pomiarów stężenia zapylenia powietrza kopalnianego. Katalog KOMAGu, Gliwice 1984,

g. Jagoda L.: Instalacja wodna z układem zraszającym AQUA-1 współpracująca z kombajnem KWB-RDU. Poradnik nr 327. KOMAG, Gliwice 1982,

h. Jagoda L.: Instrukcja obsługi i eksploatacji instalacji wodnej z układem zraszającym AQUA-1 dla kombajnów ścianowych. Centrum Mechanizacji Górnictwa KOMAG, Gliwice 1987,

i. Instalacje odpylające IO-500Ch i IO-600Ch-instrukcja obsługi i opis techniczny. KOMAG, Gliwice 1983,

j. Polska Norma: Środki powierzchniowo czynne. PN-71/MPCh.

183. Jankowski B.: Wasserdüsen und ihre Einsatzmöglichkeit zur Staubbekämpfung im Bergbau. Bergakademie. Freiburg 1963,

184. Kwiecień Z., Zacharzewski J.: Kryterium efektywności strącania pyłu z powietrza kopalnianego kroplami rozpylonej wody. Sympozjum Naukowe: Zwalczanie zapylenia powietrza kopalnianego w górnictwie. Katowice 1974,

185. Klinkner H.G., Bauer H.D.: Staubbekämpfung beim Einbringen von Dammbaustoffen bei der Saarbergwerke AG, Kompaß nr 4. Bochum 1985,

186. Projekty wynalazcze:

a. Cichowski E (główny twórca): Samooczyszczalny filtr do cieczy, patent 56603 z 1969,

b. Cichowski E. (główny twórca): Samooczyszczalny filtr do cieczy, patent 59653 z 1970,

c. Cichowski E.:(główny twórca):Urządzenie dozujące,patent 61403 z 1971.

w tym również patenty zagraniczne:

d. Cichowski E.(patent niemiecki): Dosierapparat, patent nr 1806897 z dnia 4.10.1968,

e. Cichowski E.(patent francuski): Dispositif de dosage, patent nr 1590546 z dnia 4.10.1968,

f. Cichowski E.(patent angielski): Proportioner, patent nr 1207746 z dnia 4.10.1968,

g. Cichowski E.(główny twórca): Urządzenie dozujące, patent 64839 z 1974,

h. Cichowski E.(główny twórca): Urządzenie dozujące, patent 75911 z 1972,

i. Cichowski E.(główny twórca): Urządzenie odpylające, patent 78796 z 1976r,

j. Cichowski E.(główny twórca):Urządzenie zraszające, wzór użytkowy 24536 z 1976,

k. Cichowski E.(współtwórca):Środek zwilżający zwłaszcza do likwidacji zapylenia, patent 100461 z 1979,

l. Cichowski E.(główny twórca):Urządzenie zraszające, patent 88255 z 1979,

m. Cichowski E.(główny twórca):Układ zraszający dla kombajnów węglowych, patent 105037 z 1980,

187. Schnier M.:Einsatz von hygroskopischen Salzen im Steinkohlenbergbau. Glückauf nr 15, Essen 1983,

188. Techniczne artykuły popularyzatorskie:

a. Cichowski E.:Dozownik zwilżacza Dz-1. Nowości ZKMPW nr 20, Gliwice 1969,

b. Cichowski E.: Zastosowanie zwilżaczy przy zwalczaniu zapylenia, Nowości ZKMPW nr 7, Gliwice 1970,

c. Cichowski E.: Dysze zraszające DS i DP. Nowości ZKMPW nr 7, Gliwice 1970,

d. Cichowski E.:Filtr szybkooczyszczalny FSO. Nowości ZKMPW nr 7, Gliwice 1970.

e. Cichowski E.(współautor): Efekty eksperymentalnego zastosowania ciekłego zwilżacza KBS przy zwalczaniu zapylenia w KWK Brzeszcze. Nowości ZKMPW nr 3, Gliwice 1973,

f. Cichowski E.: Zastosowanie zwilżaczy przy zraszaniu stref zapylonych. Wydawnictwo Specjalne ZKMPW, Gliwice 1973,

g. Cichowski E. (współautor): Nowe dysze kombajnowe DPZ i DSZ. Nowości ZKMPW nr 1, Gliwice 1975.

189. Walton W.H., Woolcock A.: The suppression of airborne dust by waterspray MRE Raport nr 2163. National Coal Board. London 1960,

190. Weselly R.: Wetterbewegung im Ortsbereich von Streckenvortrieben. Glückauf-Forschungshefte 2. Essen 1983.

ZAGROŻENIE PYŁOWE W GÓRNICTWIE WĘGLA KAMIENNEGO

- MODEL CELOWEJ TECHNIKI BEZPIECZEŃSTWA


S T R E S Z C Z E N I E

Zgodnie z obowiązującymi przepisami BHP celem nadrzędnym prowadzonej działalności górniczej jest bezzagrożeniowe wydobycie, a wypadki, choroby zawodowe oraz szkody materialne, definiowane krótko jako szkodliwość stanowią niepożądany skutek ostateczny tego działania.

Przyjęto, że parametry środowiska pracy i sprawstwo, będące skutkiem działania, decydują o występowaniu zagrożenia wypadkowego i chorobowego, gdyż ich porównanie z obowiązującymi poziomami bezpieczeństwa (na obecnym etapie poznania zagrożenia bezwzględnego) determinuje stan względnego zagrożenia w środowisku pracy.

Zanim w zakładzie górniczym (ZG) pojawi się szkodliwość, można wyodrębnić trzy fazy możliwego następstwa zdarzeń:

- fazę bezzagrożeniową (BZa), którą określają przyjęte poziomy bezpieczeństwa $PB_{1:j}$, w której realizowane jest bezpieczeństwo i higiena pracy,
- fazę zagrożenia umownego (ZaU), charakteryzującą się deficytem bezpieczeństwa po stronie parametrów środowiska pracy lub/i czynnika ludzkiego bez chwilowej możliwości bezpośredniej szkodliwości,
- fazę zagrożenia pełnego (ZaP), charakteryzującą się występującym deficytem bezpieczeństwa z chwilową możliwością szkodliwości.

Ze względu na pojawianie się w środowisku pracy niepożądanych skutków pośrednich, warunkujących szkodliwość, osiągnięcie celu nadrzędnego wymaga podejmowania we wszystkich fazach możliwego następstwa zdarzeń, celów pośrednich (rozdział 4).

W pracy przeprowadzono analizę retrospektywną koniecznego następstwa zdarzeń, które w górniczym środowisku pracy poprzedza szkodliwość przy

uwzględnieniu możliwego ujemnego wpływu na załogę litosfery, technosfery i atmosfery.

Wychodząc od niepożądanych skutków ostatecznych, określono konieczne łańcuchy zdarzeń $Ł_k$ warunkujące następstwo zdarzeń poprzedzające analizowaną szkodliwość. Konieczne łańcuchy zdarzeń przedstawiają uporządkowanie kolejnych skutków pośrednich, które zamieniają się w przyczyny (lub i warunki główne) następstwa zdarzeń.

Uporządkowanie zdarzeń przeprowadzono ze względu na: działanie kierownictwa ZG, dozoru i całej załogi, ruch ZG, roboty górnicze i na zmiany parametrów środowiska pracy (wzory (5.18), (5.19), (5.25), (5.26)).

Rozpatrywane grafy przedstawiają topologiczne odwzorowanie występującego następstwa zdarzeń. Określają jednoznacznie zachodzące relacje pomiędzy zdarzeniami, w których węzły reprezentują warunki konieczne następstwa zdarzeń, a gałęzie zorientowane w kierunku implikacji przedstawiają kolejne skutki pośrednie, zamieniające się w przyczyny (lub i warunki główne) następstwa zdarzeń (rys. 5.1 do 5.6).

Zaprzeczenie koniecznego łańcucha zdarzeń $Ł_k$, wynikające z zaprzeczenia któregokolwiek składnika istotnego warunku koniecznego, implikuje logiczne zaprzeczenie rozpatrywanej szkodliwości (wzory (3.12), (3.18), (5.19) i (5.26)).

Logiczne zaprzeczenie nie oznacza jednak rzeczywistego zaprzeczenia skutku ostatecznego. Rzeczywiste zaprzeczenie rozpatrywanej szkodliwości może tylko wynikać z wprowadzenia dodatkowych warunków ubocznych do środowiska pracy, stwarzających warunki regresywne dla niepożądanego następstwa zdarzeń.

Wyselekcjonowane konieczne łańcuchy zdarzeń $Ł_k$, $Ł_{kw}$, $Ł_{kch}$ stanowią punkt wyjścia do rozważań na temat zagrożenia pyłowego występującego w górniczym środowisku pracy oraz celowej techniki bezpieczeństwa pracy stosowanej w tym zakresie (rozdział 6).

Wypadki i choroby zawodowe implikują konieczny łańcuch zdarzeń $Ł_k$, a ten z kolei implikuje półdeterministyczny łańcuch zdarzeń $Ł$, który stanowi warunek konieczny następstwa zdarzeń na obecnym etapie poznania zagrożenia pyłowego (wzór 6.4).

Zaprzeczenie półdeterministycznego łańcucha zdarzeń ($Ł$) implikuje zaprzeczenie zarówno logiczne, jak i rzeczywiste rozpatrywanej szkodliwości dzięki przyjętym poziomom bezpieczeństwa $PB_j$ (wzór 6.9).

Opracowano szczegółowe modele zagrożenia respirabilnymi pyłami kolagenowymi, wybuchowymi pyłami węglowymi oraz globalnie dla zagrożenia pyłowego. Wyniki rozważań przedstawiają wzory (7.12),(7.29),(7.31) i grafy - rys.7.1, 7.2, 7.3.

Zaprzeczenie globalnego zagrożenia pyłowego (wzór 7.31) implikuje model bezpieczeństwa (wzór 8.1 oraz graf rys.8.1 i 8.3), którego realizację stanowi celowa technika bezpieczeństwa pracy stosowana w górnictwie w zakresie zagrożenia pyłowego.

Dorobek konstrukcyjny i publikacyjny autora w zakresie profilaktyki technicznej zorientowanej na strumień emitowanego pyłu zebrano w rozdz.9.

# DIE STAUBGEFÄHRDUNG IM STEINKOHLENBERGBAU -MODELL SYSTEMATISCHER SICHERHEITSTECHNIK

## K U R Z F A S S U N G

Die gefahrenlose Förderung bildet, den verbindlichen Vorschriften gemäß, ein angestrebtes Hauptziel im Bergbau, dagegen, Unfälle, Berufskrankheiten und Sachschaden, kurz als Schädigung benannt, bedeuten unerwünschte Endfolgen dieses Verfahrens.

Grundsätzlich entscheiden die Arbeitsumweltparameter sowie die Ver- Verfahrenswirkung über Unfall- und Berufskrankheitengefährdung, da ihr Vergleich mit den angenommenen Sicherheitsniveaus den relativen Gefährdungszustand in der Arbeitsumwelt bestimmt (nach dem derzeitigen Wissen).

Bevor im Bergwerk eine Schädigung entsteht, können 3 Phasen möglicher Ereignisreihenfolge auftreten:

- die gefahrenlose Phase (BZa) ist ein Zustand infolge eingehaltener Sicherheitsniveaus, die die Arbeitssicherheit und Higiene voraussetzen,
- die Gefahrphase (ZaU) ist ein Zustand infolge eines Sicherheitsdefizits in bezug auf die Arbeitsumweltparameter und/oder den menschlichen Faktor ohne augenblicklicher Möglichkeit einer Schädigung,
- die Gefährdungsphase ist ein Zustand infolge eines Sicherheitsdefizits in bezug auf die Arbeitsumweltparameter und/oder den menschlichen Faktor mit augenblicklicher Möglichkeit einer Schädigung.

Das Erreichen des Hauptzieles, der gefahrenlosen Phase (BZa), ergibt sich auf Grund in jeder Phase vorgenommener Zwischenziele wegen erscheinender unerwünschter Zwischenfolgen, die die Schädigung bedingen (Abschnitt 4).

In der vorliegenden Arbeit wird eine retrospektive Analyse der in der bergmänischen Arbeitsumwelt auftretenden Unfall- und Gesundheitsgefährdung

dargestellt, wobei der schädliche Einfluß auf die Belegschaft der Litosphäre, Technosphäre und Atmosphäre berücksichtigt wird.

Von den unerwünschten Endfolgen ausgehend werden unbedingte, der Schädigung vorangehende und die Ereignisreihenfolge bedingende Ereignisketten $E_k$ ermittelt.

Unbedingte Ereignisketten bilden eine Anordnung aufeinanderfolgender Zwischenwirkungen, die sich nachher in Ursachen (manchmal und Hauptbedingungen) der Ereignisreihenfolge umwandeln.

Die Zuordnung der Ereignisse erfolgte in Hinsicht auf das Verfahren der Leitung des Bergwerks, der Aufsichtspersonen und der gesammten Belegschaft, den Betrieb des Bergwerks, die Grubenarbeiten und Änderungen der Arbeitsumweltparameter (Formeln 5.18, 5.19, 5.25 und 5.26).

Die betrachteten Graphen bilden eine topologische Abbildung der auftretenden Ereignisreihenfolge und verdeutlichen klar die Relationen zwischen den Ereignissen. Dabei bilden die Ecken aufeinanderfolgende notwendige Bedingungen der Ereignisreihenfolge und die in Richtung der Implikation orientierten Kanten, die aufeinandererscheinenden Zwischenfolgen, welche sich nächstens in Ursachen (manchmal auch Hauptbedingungen) der Ereignisreihenfolge umwandeln.

Die Negation der notwendigen Ereigniskette, die unter Voraussetzung der Negation irgendeines der wesentlichen Bestandteile der notwendigen Bedingung erfolgt, impliziert die logische Negation der betrachteten Schädigung (Formeln 3.12, 3.18, 5.19, 5.26).

Jedoch bedeutet die logische Negation noch nicht die wirkliche Negation der Endfolge. Die wirkliche Negation der betrachteten Schädigung geschieht infolge der Einführung in die Arbeitsumwelt zusätzlicher Nebenbedingungen, wodurch der unerwünschten Ereignisreihenfolge regresive Bedingungen zu Anteil werden.

Aufgestellte notwendige Ereignisketten $E_k, E_{kw}, E_{kch}$ bilden den Ausgangspunkt von Überlegungen über die relative Staubgefährdung in der bergmänischen Arbeitsumwelt sowie über die systematische Sicherheitstechnik in diesem Bereich (Abschnitt 6).

Unfälle und Berufskrankheiten implizieren die notwendige Ereigniskette $E_k$ und diese dagegen impliziert die halbdeterministische Ereigniskette $E$. Sie bildet notwendige Bedingungen der Ereignisreihenfolge entsprechend dem jeweiligen Stand des Wissens über die absolute Gefährdung in der Arbeitsumwelt (Formel 6.4).

Die Negation der halbdeterministischen Ereigniskette ($\not\vdash$) impliziert sowohl die logische wie die wirkliche Negation der betrachteten Schädigung infolge aufgestellter Sicherheitsniveaus $PB_j$ (Formel 6.9).

Das Modell der Gefährdung (Formel 6.4) wird für respirabile, eksplosive Stäube und global für die Staubgefährdung dargestellt. Die Ergebnisse dieser Betrachtung werden mittels Formeln 7.12,7.29,7.31 und Graphen Bild 7.1,7.2 und 7.3 ausgedrückt.

Das eingehende Modell der Sicherheit (Formel 8.1 und Graphen Bilder 8.1 und 8.3) bildet die systematische Sicherheits- und Hygienetechnik im Bereich der Staubgefährdung die im Steinkohlenbergbau im Einsatz ist,

Der Konstruktions- und Publikationserwerb des Autors im Bereich der auf den emmitierten Staubstrom gerichteten technischen Prophylaxe wird in Abschnitt 9 dargelegt.

DUST HAZARD IN HARD COAL MINING

- A MODEL OF PURPOSEFUL SAFETY TECHNICS


S u m m a r y

In accordance with the obligatory industrial safety regulations the primary aim of a mining activity is the extraction of coal without hazards, whereas accidents, occupational diseases as well as material damages, defined in short as harmfulness, are an undesirable final effect of this activity.

It has been assumed that the parameters of the work environment and the results of the activity are decisive about the occurrence of accident and health hazards as they comparision with the obligatory safety levels (at the present stage of knowledge of absolute hazard), determine the condition of relative hazard in the work environment.

Prior to the occurence of harmfulness in a mining plant (ZG), it is possible to distinguish three phases of the possible sequence of events:

- no-hazard phase (BZA), which is determined by the accepted safety levels $PB_j$, in which industrial safety is realized,
- phase of coventional hazard (ZaU), characterized by safety deficiency on the part of the parameters of work environment or/and human factors without temporary possibility of direct harmfulness,
- phase of full hazard (ZaP), characterized by the occurence of safety deficience with temporary possibility of harmfulness.

On account of the occurence, in the work environment, of undesirable indirect effects, decisive about harmfulness, the achievment of the primary aim requires the undertaking, in all phases of the possible sequence of events, of indirect aims (chapter 4).

A retrospective analysis of the necessery sequence of events which in the mining environment precedes harmfulness has been made, taking into consideration the possible negative influencing of the crew by litosphere, technosphere and atmosphere.

Starting from the undiserable final effects, the necessary chains of events $\mathfrak{k}_k$ were determined; these being decisive about the sequence of events preceding the harmfulness analysed. The necessary chains of events represent the arrangement of the successive indirect effects which change into the cause (sometimes also principal conditions) of the sequence of events.

The arrangement of events was carried out because of the activity of the mine (ZG) management, technical inspection and the whole working force, mine (ZG) at work, mining and the changes of the work parameters (formulas 5.18, 5.19, 5.25 and 5.26).

The graphs analysed present homomorphic mapping of the occurring sequence of events. They determine univocally the relationships between the events in which the nodes represent the necessary conditions of the sequence of events, and the branches oriented in the direction of implication represent the successive indirect effects which change into the cause (often and into principal conditions) of the sequence of events (Fig. 5.1 to 5.6).

The contradiction of the necessary chain of events $\mathfrak{k}_k$ resulting from the negation of any essential component of the necessary condition implies logical contradiction of the harmfulness analysed (formulas 3.12, 3.18, 5.19 and 5.26).

However logical contradiction does not mean real contradiction of the final effect. The real contradiction of the harmfulness analysed may result only from the introducing of additional conditions, incidental to the work environment and creating regresive conditions for an undiserable sequence of events.

The selected necessary chains of events $\mathfrak{k}_k, \mathfrak{k}_{kw}, \mathfrak{k}_{kch}$ constitute a point departure for the considerations on the subject of dust hazard occuring in the mining work environment and the applied purposeful safety technics (chapter 6).

Accidents and occupational diseases imply a necessary chain of events, and this in turn, implies semideterministic chain of events $\mathfrak{k}$ which is a necessary condition of the sequence of events at the present stage of knowledge of the dust hazard (formula 6.4).

A contradiction of the semideterministic chain of events ($\bar{L}$) implies both logical and real contradiction of the harmfulness analysed thanks to the obligatory safety levels (formula 6.9).

Detailed models of hazards from desirable collagen dusts, explosive dusts and totally for the dust hazard have been devised. The results of these considerations are presented in the formulas (7.12), 7.29, (7.31) and graphs (Fig. 7.1, 7.2, 7.3).

The contradiction of the total dust hazard (formula 7.31) implies a model of safety (formula 8.1 and graph 8.1), the realization of which is the working safety technics used in mining in the sphere of dust hazard.

The constructional and publishing output of the author in the field of technical prevention oriented on the stream of the emitted dust has been compiled in chapter 9.

8.200,-

BIBLIOTEKA GŁÓWNA
Politechniki Śląskiej
7.3351/93/211