

EDWARD CICHOWSKI\*

## AN ESTIMATION OF RISK BY RESPIRABLE DUST

### OCENA RYZYKA PYŁAMI RESPIRABILNYMI

An instrument of a new safety policy now being implemented in Polish mining is a system of safety management. An essential element of safety management is a systematic identification of the occurring hazard in order to evaluate the current risk of mining (Sobala, Rosmus, 1996). An estimation of the risk of mining is carried out before making a decision referring to the operation of a mining plant and the conducted mining work. The starting point of the presented considerations is the opinion that irreversible anthracosis changes in miners are a final undesirable effect of a whole chain of successive indirect causes and principal conditions (Pelc, Przełęcki, Szaniawski, 1957) constituting the essential components of the necessary sequence of events (Cichowski 1999, Leniewicz 1975, Pszczółowski 1977, 1988). The significant components of the necessary sequence of events are always true when the final undesired effect is true. However, they take place in various (accidental) circumstances which has a probabilistic, that is, unpredictable character (Bobrowski 1980). A semideterministic approach, presented in this study, is also possible (Cichowski 1999, Muschick 1986, Muszewski 1970). It assumes that the occurring deficits of safety on the part of the working environment parameters, and progressive causation on the part of human factor constituting a negation of the assumed safety levels<sup>1</sup> create favourable (progressive) conditions for an undesired sequence of events preceding irreversible anthracosis changes in miners. This is the essence of the identified hazard and the occurring risk of mining. A decrease of this risk is achieved thanks to an establishment of new, or thightening the already obligatory levels of safety. To assess the anthracosis hazard a graduation of the occurring risk of mining has been proposed.

**Key words:** safety levels, desired parameters, safety standards, required technical prevention, deficit of safety, progressive causation, mining risk, necessary conditions, semideterministic sequence of events.

---

\* INSTYTUT EKSPLOATACJI ZŁÓŻ, POLITECHNIKA ŚLĄSKA, 44-100 GLIWICE, UL. AKADEMICKA 2

<sup>1</sup> The safety level is the state in the working environment both in the part of its objects and the part of the crew, sanctioned by the obligatory regulations of the Code of Safety, creating regressive (unfavourable) conditions for undesired occurrence of particular causes or principal conditions for the necessary sequence of events preceding an undesired final effect (Cichowski, 1999).

Poziomy bezpieczeństwa, którym na ogół nadaje się rangę obowiązującego przepisu BHP, stwarzają zarówno po stronie parametrów środowiska pracy, jak i po stronie czynnika ludzkiego warunki niesprzyjające dla niepożądanego zajścia poszczególnych przyczyn pośrednich lub/i warunków głównych koniecznego następstwa zdarzeń (Cichowski, Armbruster, 1996).

Negację poziomów bezpieczeństwa po stronie parametrów środowiska pracy przedstawiają deficyty bezpieczeństwa, zaś po stronie czynnika ludzkiego sprawstwa progresywne. Przez sprawstwo progresywne należy rozumieć stany w środowisku pracy będące skutkiem działania (np. brak ochrony osobistej lub zaniechanie w zakresie przeprowadzania systematycznej kontroli pomiarowej stężenia zapylenia strumienia wentylacyjnego), a stwarzające warunki sprzyjające (progresywne) dla niepożądanego następstwa zdarzeń. Istotą identyfikowanego zagrożenia są więc występujące deficyty bezpieczeństwa i sprawstwa progresywne. Stwarzają one określone ryzyko wydobywania, które oznaczono przez  $R$  (Cichowski, 1999).

Przyjęto następującą gradację ryzyka wydobywania  $R$  i poziomu bezpieczeństwa  $P$ , jaki przedstawiają występujące deficyty bezpieczeństwa i sprawstwa progresywne:

Ryzyko nie akceptowalne  $0 \leq P < 0,25$ ;  $0,75 < R \leq 1$ , stwarzają deficyty bezpieczeństwa w zakresie nakazanych parametrów środowiska pracy, tj. standardów bezpieczeństwa (jeśli zostały ustanowione), parametrów pożądanых lub nakazanej profilaktyki technicznej.

Ryzyko istotne  $0,25 \leq P < 0,5$ ;  $0,5 < R \leq 0,75$ , stwarzają deficyty bezpieczeństwa w zakresie wdrożenia profilaktyki technicznej zmierzającej do utrzymania nakazanych parametrów środowiska pracy.

Ryzyko umiarkowane  $0,5 \leq P < 0,5$ ;  $0,25 < R \leq 0,5$ , stwarza sprawstwo progresywne kierownictwa, dozoru i załogi w zakresie utrzymywania różnych stanów bezpieczeństwa w zakładzie górniczym.

Ryzyko akceptowalne  $0,75 \leq P < 1$ ;  $0 < R \leq 0,25$ , stwarza sprawstwo progresywne wyższego szczebla kompetencji tj. dozoru, kierownictwa czy władz górniczych w zakresie wpływu na niższy szczebel, tj. odpowiednio załogę, dozór i kierownictwo zakładu górniczego dotyczącego kontroli, kształtowania osobowości czy podejmowanych decyzji.

Ocena ryzyka pylicowego została oparta na szczegółowej analizie niepożądanego następstwa zdarzeń poprzedzającego pylicę, a warunkowanego mogącymi pojawić się deficytami bezpieczeństwa lub sprawstwami progresywnymi po stronie załogi.

Przeanalizowano również możliwe zdarzenia niepożądane warunkowane występującymi deficytami bezpieczeństwa lub/i sprawstwami progresywnymi dotyczącymi poziomów bezpieczeństwa, których utrzymanie nie jest jeszcze sankcjonowane stanem prawnym obowiązującym w polskim górnictwie.

Łańcuch  $\prod_{1,11}^{CH}$  jedenastu warunków półdeterministycznych następstwa zdarzeń  $Z \Rightarrow Y \Rightarrow \dots \Rightarrow A$  implikuje nieodwracalne zmiany pylicowe u załogi.

Wzór (2) zawiera:

- 1 przyczynę bezpośrednią uznania choroby zawodowej, tj. nieodwracalne zmiany pylicowe,
- 10 przyczyn pośrednich i 9 warunków głównych koniecznego następstwa zdarzeń,
- 4 przaprzyczyny,
- 19 możliwych deficytów bezpieczeństwa,
- 27 możliwych sprawstw progresywnych po stronie czynnika ludzkiego.

Wzór (2) jest reprezentowany przez graf pokazany na rys. 1. Graf przedstawia zarówno łańcuch warunków półdeterministycznych następstwa zdarzeń poprzedzających pylicę (węzły grafu) jak i kolejne przyczyny i warunki główne zachodzące przy możliwych deficytach bezpieczeństwa i sprawstwach progresywnych tworzących zdarzenia niepożądane (gałęzie grafu zorientowane w kierunku wynikania logicznego). Zdarzenia niepożądane stanowią istotę zidentyfikowanego zagrożenia pylicowego.

Ogólną ocenę zagrożenia pylicowego, tj. możliwego niepożądanego następstwa zdarzeń poprzedzającego pylicę oraz gradację ponoszonego ryzyka wydobywania, przeprowadzono na

podstawie opisu grafu. Poszczególne składniki istotne koniecznego następstwa zdarzeń poprzedzającego pylicę rozpatrzono ze względu na możliwe deficyty bezpieczeństwa po stronie parametrów środowiska pracy i sprawstwa progresywne po stronie czynnika ludzkiego. Rozpatrzono następujące przyczyny i warunki główne koniecznego następstwa zdarzeń:

- $NZ$  — nieodwracalne zmiany pylicowe,
- $RZ_{dCH}$  — rzeczywisty próg zachorowalności,
- $AZ^{CH}$  — aktywizację zagrożenia pylicowego,
- $iq$  — niekontrolowane stężenie zapylenia,  $is$  — niekontrolowaną ekspozycję,
- $hq$  — czynności załogi,  $hs$  — stan przestrzeni roboczej,
- $gq$  — zapylenie strumienia wentylacyjnego,  $gq_z$  — pośredni wpływ załogi na zapylenie,
- $fq$  — strumień emitowanego pyłu,
- $eq$  — przebiegające roboty górnicze,  $eq_z, eq_d$  — wpływ załogi i dozoru na roboty górnicze,
- $dq$  — ruch zakładu górniczego,  $dq_k$  — wpływ kierownictwa na ruch,
- $cq$  — działanie załogi,  $cq_d$  — wpływ dozoru na działanie załogi.
- $bq$  — działanie dozoru,  $bq_k$  — wpływ kierownictwa na działanie dozoru,
- $aq$  — działanie kierownictwa,  $aq_w$  — wpływ władz górniczych na działanie kierownictwa.

Deficyt bezpieczeństwa w zakresie NDS stwarza ryzyko nieakceptowalne w zakresie  $0,75 < R \leq 1$ . Obowiązujące przepisy BHP przedstawiają szczegółową gradację ryzyka wydobycia w oparciu o stopnie zagrożenia pyłem respirabilnym. Tablica przedstawia stopnie zagrożenia pyłowego oraz proponowaną gradację ryzyka wydobycia nieakceptowalnego w zależności od zmierzonego stężenia zapylenia  $S > PB_{NDS}^p$  i procentowej zawartości krzemionki  $SiO_2$ .

Obowiązujące przepisy wymagają wówczas utrzymywania określonych parametrów požądanych lub stosowania nakazanej profilaktyki technicznej w celu zmniejszenia występującego ryzyka wydobycia  $R$ .

Każda profilaktyka techniczna zmierzająca do utrzymania wymienionych nakazanych parametrów środowiska pracy (np.  $NDSu$ ) ma swój zakres optymalnego zastosowania, przy czym bierze się pod uwagę nie tylko skuteczność odpylania danego urządzenia, stężenie zapylenia pierwotne i skład mineralogiczny emitowanego pyłu, ale również względy ekonomiczne, gdyż np. odpylacze suche są bardzo drogie (Frydel, Steindor, 1996).

## 1. Introduction

The safety levels that are generally given the status of the observed Code of Safety create, both on the part of the working environment parameters<sup>2</sup>, and the human factor, conditions unfavourable to undesired occurrence of the particular indirect causes, or/and principal conditions of the sequence of events (semideterministic approach presented in this study<sup>3</sup>) (Cichowski, Armbruster, 1996).

<sup>2</sup> Parameters of the working environment are the states of its objects, e.g. material factor (Cichowski, 1999).

<sup>3</sup> Semideterministic approach assumes that the considered working environment meets, or does not meet, the obligatory requirements of safety (Muschick, 1986; Muszewski, 1970).

A negation of the safety levels on the part of the working environment parameters are the deficits of safety, whereas on the part of the human factor — progressive causations. By progressive causation we mean the states in the working environment resulting from activities<sup>4</sup> (e.g. lack of personal protection or negligence of systematic measuring control of the ventilation flux dust concentration) creating favorable (progressive) conditions for an undesired sequence of events. These create the particular risk of mining denoted by  $R$ .

Apart from a few exceptions the obligatory regulations of the Code of Safety present a twostate estimation of the working environment i.e. safety (logical value 0 no-hazard, when the considered safety regulations are maintained) and hazard (1 — full hazard when there is a deviation from the rule).

However such an assumption is not very useful for identification of hazard as makes impossible a gradation of the occurring risk of mining  $R$ .

However, to preserve the two-value estimation of the working environment, a gradation of the risk of mining  $R$  was assumed, taking into account the safety level  $P$  which the individual deviations still present according to dependence

$$R = 1 - P \quad (1)$$

$P = 1$  means that there is full relative safety since the safety level is maintained in the working conditions and the occurring risk of mining  $R = 0$ . The following gradation of the safety levels  $P$  and the risk of mining  $R$  were assumed:

- **unacceptable risk**  $0 \leq P < 0.25$ ;  $0.75 < R \leq 1$ , is created by the deficits of safety in the sphere of the required parameters of working environment i.e., safety standards<sup>5</sup> (if these have been established), desired parameters<sup>6</sup> or the obligatory technical prevention<sup>7</sup>,

- **essential risk**  $0.25 \leq P < 0.5$ ;  $0.5 < R \leq 0.75$ , is created by the deficits of safety in the sphere of implementation of technical prevention aiming the maintenance of the required parameters of the working environment,

- **moderate risk**  $0.5 \leq P < 0.75$ ;  $0.25 < R \leq 0.5$ , is created by the progressive causation of the management, technical inspection and crew in the sphere of maintaining various states of safety in a mining plant,

---

<sup>4</sup> An activity is the whole (sum) of the human factor reactions on the basis of decisions made (Cichowski, 1999).

<sup>5</sup> Standards of safety are the extreme acceptable, measurable parameters of the working environment which if exceeded in relation to the obligatory rules of the Code of Safety, call for immediate counteraction, e.g., withdrawal standard (Cichowski, 1999).

<sup>6</sup> The desired parameters are the optimum parameters of the working environment in the given conditions providing the achievement of at least minimum comfort at full working safety which corresponds to the current knowledge of the occurring absolute hazard e.g., desired use of dust extractor in a combine driven headings (Cichowski, 1999).

<sup>7</sup> The obligatory technical prevention are the technical means or mining technology required in accordance to the regulations of the Code of Safety at the particular amount of the occurring hazard e.g., to use on the combine, of tangential tools or water-air nozzles placed in the working organ (Cichowski, 1999).

• **acceptable risk**  $0.75 \leq P < 1$ ;  $0 < R \leq 0.25$ , is created by progressive causation of the higher rank of competence i.e. technical inspection, management or mining authorities in the sphere of influencing the lower rank i.e. respectively the crew, technical inspection and management of the mining plant referring to the control, personality shaping or decision making.

The deficits referring to the required parameters of environment create the highest unacceptable risk of mining as they favour activation of anthracosis hazard i.e., the process directly preceding the appearance of unnoticed at first, irreversible anthracosis changes.

The considered risk of mining is particularly serious as it affects the major part of the personnel. The stated unacceptable risk may often require a decision to stop the mining process and withdraw the crew.

The required working environment parameters, in general, calls for implementation of technical prevention necessary for their maintaining. Safety deficits in this sphere create essential risk often requiring their immediate removal with a continuation of the mining process.

Moderate risk results from progressive causation of the crew, technical inspection and management in the sphere of the various states of safety referring to the human factor.

The states mentioned, referring e.g., to personal protections, conducting systematic measuring control of dust concentration in obligatory places or to causation in the field of implementing the necessary technical prevention etc., do not call for immediate stopping of the implementing the necessary technical prevention etc., do not call for immediate stopping of the mining process, but must be eliminated within the framework of the assumed plan of the improvement of safety conditions.

Acceptable risk results from an undesirable influence of the technical inspection, management and mining authorities upon the activities of the lower rank of competence i.e., respectively the crew, technical inspection and management. This does not require the stopping of the mining process, but desirable action in the higher ranks of competence within the assumed plan of improving the safety conditions.

The identification of hazard, carried out retrospectively or prospectively, i.e., the analysis of undesirable sequence of events, preceding anthracosis enables also a detection of deficits of safety or progressive causations for which no proper safety levels have not been established as yet. The safety level in this case, in accordance to the Code of Safety, can be developed and confirmed by a dispatcher, as an instruction for safe execution of the particular mining operations running in conditions of anthracosis hazard.

## 2. General gradation of anthracosis hazard

The estimation of anthracosis hazard was based on a detailed analysis of an unfavourable sequence of events preceding anthracosis, resulting from the possible

deficits of safety or progressive causations in the part of the crew (Cichowski, 1995).

Analysed were also the possible undesired events conditioned by the occurring deficits of safety or/and progressive causations referring to the safety levels whose maintainance is not as yet required by law valid in polish mining.

Basic logical functors were used:  $\wedge$  — conjunction,  $\vee$  — alternative,  $\Rightarrow$  — implication,  $\equiv$  — equivalence and  $\neg$  — negation (Pasenkiewicz, 1968) and the sequence of events taking place was represented by a graph<sup>8</sup> (Cichowski, 1999; Karpiński, 1978; Robischaud, Boisvert, Robert, 1968).

The chain  $\prod_{1:11}^{CH}$  of eleven semideterministic conditions (Muschick, 1968; Muszewski, 1970) of the sequence of events  $Z \Rightarrow Y \Rightarrow \dots \Rightarrow A$  precedes irreversible anthracosis changes in the crew.

$$\begin{aligned}
 Ch \Rightarrow NZ \Rightarrow \prod_{1:11}^{CH} &\equiv \\
 &\equiv \{Z \equiv RZ_{dCH} \vee \overline{PB}_{PM}^c\} \Rightarrow \\
 &\Rightarrow Y \equiv \{AZ^{CH} \vee \overline{PB}_{SPZ}^p \vee \overline{PB}_{KM}^c\} \Rightarrow \\
 &\Rightarrow I \equiv \{iq \vee \overline{PB}_{NDS:PP}^p \wedge (is \vee \overline{PB}_{O:KSZ}^c)\} \Rightarrow \\
 &\Rightarrow H \equiv \{(hq \vee \overline{PB}_{Dz}^c) \wedge (hs \vee \overline{PB}_{Zs}^p)\} \Rightarrow \\
 &\Rightarrow G \equiv \{(gq \vee \overline{PB}_{KA}^p) \wedge (gq_z \vee \overline{PB}_{Kz}^c)\} \Rightarrow \\
 &\Rightarrow F \equiv \{fq \vee \overline{PB}_{NPT_{werg}}^p\} \Rightarrow \\
 &\Rightarrow E \equiv \{(eq \vee \overline{PB}_{PT_{wd}}^p) \wedge (eq_z \vee \overline{PB}_{K_{rgz}}^c) \wedge (eq_d \vee \overline{PB}_{K_{rgd}}^c)\} \Rightarrow \\
 &\Rightarrow D \equiv \{(dq \wedge (dq_k \vee \overline{PB}_{PT_{wd}:K}^c))\} \Rightarrow \\
 &\Rightarrow C \equiv \{(cq \wedge (cq_d \vee \overline{PB}_{K_d:KO_d:D_d})\} \Rightarrow \\
 &\Rightarrow B \equiv \{(bq \wedge (bq_k \vee \overline{PB}_{K_k:KO_k:D_k})\} \Rightarrow \\
 &\Rightarrow A \equiv \{(aq \wedge (aq_w \vee \overline{PB}_{K_w:KO_w:D_w})\} \Rightarrow \\
 &\Rightarrow aq \wedge bq \wedge cq \wedge dq
 \end{aligned} \tag{2}$$

Formula (2) contains:

- 1 direct cause of acknowledging occupational disease i.e., irreversible anthracosis changes,

<sup>8</sup> A graph is a topological mapping of the occurring sequence of events determining univocally the relations between the events in which the nodes represents the necessary conditions of the sequence of events and the branches oriented in the direction of implication present the successive indirect effects which, in the nodes, changes into causes or/and principal conditions of the sequence of events (Cichowski, Armbruster, 1996).

• 10 indirect causes and 9 principal conditions of the necessary sequence of events,

- 4 preoriginal causes,
- 19 possible deficits of safety,
- 27 possible progressive causations on the part of human factor.

Formula (2) is represented by the graph shown in Fig. 1. The graph presents both the chain of semideterministic sequence of events preceding anthracosis changes (graph nodes), and the successive causes and principal conditions taking place at possible deficits of safety and/or progressive causations creating undesired events (branches of the graph oriented in the direction of logical resulting). The unfavourable events constitute the essence of the identified anthracosis hazard.

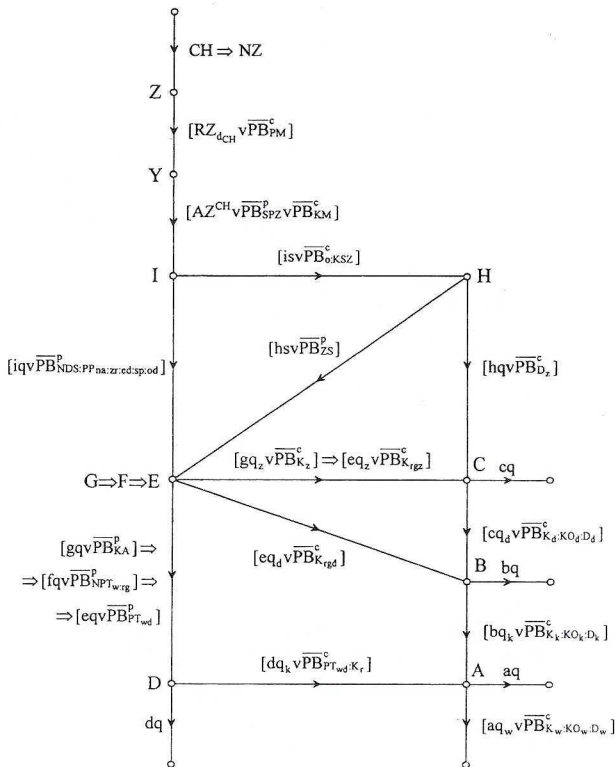


Fig. 1. A graph of the undesired sequence of events preceding of anthracosis

A general estimate of anthracosis hazard i.e., possible unfavourable sequence of events preceding anthracosis and gradation of the risk of mining will be carried out on the basis of detailed description of the graph.

The acknowledgement of occupational disease (CH) is implied by irreversible anthracosis changes (NZ) in the crew. These in turn are implied by one-element set of events Z which is the semidetermined condition for reaching by the crew, the real

treshold of morbidity i.e., the beginning of unnoticeable at first, irreversible anthracosis changes ( $RZ_{a_{CH}}$ ), with possible progressive causations on the part of management, technical inspection and the crew in the field of medical prevention i.e., inhalation ( $\overline{PB}_{PM}^c$ )<sup>9,10</sup>, if such a level had been assumed.

The progressive causation in this sphere create **moderate risk**. Reaching the real treshold of sick rate is implied by one-element set of events  $Y$ . This is a long term activation of disease hazard ( $AZ^{CH}$ ), with the possible causation in the sphere of medical control ( $\overline{PB}_{KM}^c$ )<sup>11</sup>. Here the progress causation creates **moderate risk**. There can also appear a deficit of safety in the sphere of statistical treshold of the sick rate<sup>12</sup> ( $\overline{PB}_{SPZ}^p$ ) (Reisner, 1977; Armbruster, Breuer, Reisner, 1983), if it has been required; then the **risk is unacceptable**.

The activation of disease hazard is implied by a two-element set of events. The first essential component is an uncontrolled concentration of dustiness ( $iq$ )<sup>13</sup> with possible deficiencies of safety in the sphere:

- $NDS$  (the highest admissible concentration of dustiness<sup>14</sup>  $\overline{PB}_{NDS}^p$ ),
- and/or desired parameters (Bauer, 1982, 1983; Becker, Göretz, Kemper, 1983; Cichowski, 1974, 1979, 1981, 1982, 1984; Frydel, Steindor, 1996; Kucza, Penkala, 1996; Kusak, Sedlaczek, 1995; Leeming, 1993; Lemmes, 1993; Ogorek, 1993) in the sphere of:

- initial infusion of beds  $\overline{PB}_{na}^p$ ,
- high pressure spraying  $\overline{PB}_{zp}^p$ ,
- separating of the dust flux  $\overline{PB}_{sp}^p$ ,
- „extraction drum” system  $\overline{PB}_{ed}^p$ ,
- dust collectors  $\overline{PB}_{od}^p$ .

<sup>9</sup> The horizontal line over the denotation of the safety level represents its negation i.e., deficit of safety or progressive causation.

<sup>10</sup> Causation mean a state in the labour environment resulting from the activity. Progressive causation in the range considered can mean not conforming to the rigours of medical prevention which may be the legally sanctioned level of safety. Already for a few years in the mines Chwałowice, Krupiński, Wiczorek there have been in use inhalation rooms where to the respiratory tracts of the exposed miners are introduced various pharmacological remedies which should delay reaching the actual treshold of morbidity (Alkiewicz, 1993; Gradoń, Alkiewicz, Bodasiński, 1996).

<sup>11</sup> Instructions of the Minister of Health and Social Care about medical check — Dziennik Ustaw Rzeczypospolitej Polskiej Nr 69 of 25.06.1996 r.

<sup>12</sup> The statistical treshold of morbidity is a dose of respirable dust to which the crew may be exposed during the account period at the assumed risk-of the provection which does not permit on an initiation of irreversible anthracosis changes (Cichowski, 1999).

<sup>13</sup> An uncontrolled event is a non-monitored event (beyond any control) (Cichowski, 1999).

<sup>14</sup> The highest acceptable concentration (weighted averigde) is the treshold value of the concentration of dustiness whose effect on the worker during 8-hour exposure a day, over the period of his professional activity, should not cause sick changes (Cichowski, 1999).



The deficits in this sphere create **unacceptable risk**.

The second essential element of the necessary sequence of events is an uncontrolled exposition of the crew which can take place with progressive causations in the sphere of personal protection  $\overline{PB}^c$ <sup>15</sup> (Bauer 1982, Piłaciński 1993) or/and steered system of employment  $\overline{PB}^c_{KSZ}$  (Vekeny, 1981; Cichowski, 1985; Lebecki, Bywalec, 1999), if it has been adopted. The progressive causation in this sphere create **moderate risk**.

Uncontrolled concentration of dustiness is implied by a two-element set of events G, i.e., dustiness of air ( $gq$ ) with a possible deficit of safety in the sphere of automatic control of methan concentration ( $\overline{PB}^p_{KA}$ ) (Armbruster, 1984), if it had been required, then an **unacceptable risk** is created. Another essential component is the influence of the crew on dustiness ( $gq_z$ ), with the possible progressive causation of the crew in the sphere of conducting systematic manual measurement control of dustiness ( $\overline{PB}^c_{K_2}$ )<sup>15</sup>, which creates a **moderate risk**.

The uncontrolled exposition of the crew ( $is$ ) is implied by a two-element set of events H, i.e., doings of the crew ( $hq$ ) at the progressive causation in the sphere of the decisions made by the crew ( $\overline{PB}^c_{D_z}$ ), creating **moderate risk**, and the state working space ( $hs$ ) with a possible deficit e.g., in the sphere of remote control ( $\overline{PB}^p_{Zs}$ ) (Pańkow, 1998). If the remote control has been required, the deficit of safety in this sphere creates an **unacceptable risk**.

The dustiness of the air is implied by a one-element set of events F, i.e., flux of the emitted dust ( $fq$ ) that can appear at deficits in the sphere of the required technical prevention referring to ventilation ( $\overline{PB}^p_{NPT_{we}}$ ) (Cichowski, 1989) or/and mining technology ( $\overline{PB}^p_{NPT_{rg}}$ ) (Khair, 1996; Rüssman, 1993) and creating **unacceptable risk**.

The flux of the emitted dust and the state of the working space are implied by a three-element set of events E. Mining operations ( $eq$ ) take place with possible deficits in the sphere of implementation of technical prevention ( $\overline{PB}^p_{PT_{wd}} \equiv \overline{PB}^p_{PT_{nazr:ed:sp:od:K:AZS:we:rg}}$ ) (Kucza, Penkala, 1996; Kusak, Sedlaczek, 1995), the aim of which is the maintenance of the required parameters of the working environment. This creates an **essential risk**.

The remaining components of the necessary sequence of events are the influences on the mining operations of the crew ( $eq_z$ ) and technical inspection ( $eq_d$ ) with possible progressive causations in the sphere of control of mining operations by the crew  $\overline{PB}^c_{K_{rgz}}$  or/and technical inspection  $\overline{PB}^c_{K_{rgd}}$ , creating **moderate risk**.

The mining operations are implied by a two-element set of events D, i.e., the activity of the mining plant ( $dq$ ), constituting one of the four preoriginal causes

<sup>15</sup> Instructions of the Minister of Industry and Trade of 14 April, 1995 about occupational safety and hygiene, amended 1. December 1997.

of the considered sequence of events<sup>16</sup> and the influence of the management on this activity ( $dq_k$ ), with the possible progressive causations in the sphere of implementation of technical prevention aiming at the maintenance of  $\overline{PB}^c_{PT_{wd}} \equiv (\overline{PB}^c_{PT_{na:zr:sp:ed:od:KA:ZS:we:rg}})$  and the exacting (control) of the required parameters of the environment  $\overline{PB}^c_{k_r}$ . These create **moderate risk**.

Doings of the crew and their indirect influence on dustiness and mining operations are implied by a two-element set of events C, i.e., those constituting one of the preoriginal causes of the crew activite ( $cq$ ) and the influence of the technical inspection on the crew ( $cq_a$ ) with the possible progressive causation of the technical inspection in the sphere of control  $\overline{PB}^c_{k_a}$  and forming of the crew personality  $\overline{PB}^c_{k_o_a}$  as well as decision-making by this inspection  $\overline{PB}^c_{d_a}$ . This creates **acceptable risk**.

The influence of the technical inspection on the mining operations and on the crew is implied by a two-element-set of events B, i.e., the activites of the technical inspection ( $bq$ ) which also constitutes the preoriginal cause and the influence of the management on the activities of the technical inspection ( $bq_k$ ), taking place with possible progressive causations of the management in the sphere of control  $\overline{PB}^c_{k_k}$ , and personally-forming of the technical inspection  $\overline{PB}^c_{k_o_k}$  as well as the decisions made by the management  $\overline{PB}^c_{d_k}$ . This creates an **acceptable risk**.

The influence of the management on the technical inspection and operation of the mining plant is implied by a two-element set of events A, i.e., the activity of the management ( $aq$ ) (Bradecki, Studenski, 1994; Bradecki, 1998) which is the preoriginal cause of the necessary sequence of events and the influence of the mining authorities on the activity of the management with possible progressive causations of the mining authorities in the sphere of control  $\overline{PB}^c_{k_w}$ , forming the management personality  $\overline{PB}^c_{k_o_w}$  and the decisions made by the authorities  $\overline{PB}^c_{d_w}$ . This creates an **acceptable risk**.

This ends the general gradation of the anthracosis risk. Next is presented an example of a detailed gradation of the occuring anthracosis risk resulting from the obligatory regulations of the Code of Safety.

### 3. A detailed gradation of the risk of mining

A deficit of safety referring to *NDS* causes unacceptable risk in the range  $0.75 < R \leq 1$  (item 2). The obligatory regulations of the Code of Safety present a detailed gradation of the risk in the mining on the basis of the degrees of hazard

---

<sup>16</sup> Necessary conditions of the occurrence of preoriginal causes of the necessary sequence of events will not be considered as their essential components are partly outside the mining plant.

from respirable dust. Table presents the degrees of dust hazard in accordance to the regulations<sup>17</sup> and the proposed gradation of the unacceptable risk of mining, depending on the measured concentration of dustiness  $S > PB_{NDS}^p$ . The stay of the crew in the working space in the conditions when the risk is unacceptable at  $R = 1$ , is, according to the regulations, forbidden. Moreover, from the minister's instructions quoted its arises that:

§805

„1. In the case of discovering in a mining plant or its part, the exceeding of the highest acceptable concentration of the air dustiness ( $NDS$ ), technical means or technological or organisational changes limiting dust concentration should be introduced.

These are:

- 1) exclusion of dust clouds spreading, using efficient systems of spraying or dust extraction,
- 2) mud drilling or cuttings-dry-suction when drilling in stone,
- 3) to wash or make safe sedimented dust,
- 4) use of chemical agents improving the efficiency of methods of wet dust control,
- 5) infusion of coal beds,
- 6) use of ventilation instalation and methods.

2. It is forbidden to use:

- 1) mashines and instalations which cause, during operation, air dustiness and are not equipped with efficiently operating devices preventing dustiness,
- 2) inefficiently operating instalations and agents for combatting air dustiness.”

The proposed gradation of the deficits of safety (table):

TABLE

The proposed gradation of the deficits of safety

Silica fraction	Dust	$PB_{NDS}^p$	Risk of mining $R$ /degree of hazard $Za$ depending on the measured dust concentration $S$ [ $mg/m^3$ ]			
			$0.75 < R \leq 0.85$ /Za-I	$0.85 < R \leq 0.95$ /Za-II	$0.95 < R \leq 1$ /Za-III	$R = 1$
[%]		[ $mg/m^3$ ]				
$SiO_2 < 2$	total	10	10-20	20-40	40-100	> 60
$2 \leq SiO_2 < 10$	respirable	2	2-4	4-8	8-20	> 16
$10 \leq SiO_2 < 50$	respirable	1	1-2	2-4	4-8	> 6
$SiO_2 \geq 50$	respirable	0.3	0.3-0.6	0.6-1.2	1.2-4	> 3

<sup>17</sup> Instruction of the Minister of Industry and Trade of 14, April, 1995 about occupational safety and hygiens, amended 1, December, 1997, Disposition Nr 3 of the President of the Higher Bureau of Mining of 3. August, 1994, Section X. §49.

According to the regulations and thus, in the case of appearance of any deficit in the sphere of NDS, an unacceptable risk occurs in the range  $0.75 < R \leq 1$ , depending on the measured dust concentration (table). Obligatory regulation then require the maintenance of definite desired parameters or the use of obligatory technical prevention in order to lower the occurring risk of mining *R*.

Each of the safety levels mentioned has its range of optimum use while taking into account not only the effectiveness of dust removal of the particular instalation, concentration of original dustiness and mineral composition of the emitted dust, but also economic aspects since e.g., dry dust separators are very expensive (Frydel, Steindor, 1996).

#### 4. Final remarks

Presented here is an attempt of estimating anthracosis hazard in a mining plant. However only in one case of a deficit of safety in the sphere of NDS, the obligatory regulations of the Code of Safety make possible a detailed gradiation of the anthracosis risk. A detailed gradiation of the anthracosis risk, especially in the sphere of causation of the human factor, requires a subjective approach adapted to the realities of the particular mining plant.

#### REFERENCES

- Alkiewicz J., 1993. Aerozoloterapia lekami roślinnymi w profilaktyce chorób układu oddechowego spowodowanych zanieczyszczeniami powietrza. IX Tydzień Techniki ROW Rybnik.
- Armbruster L. and others, 1984. Photometric Determination of Respirable Dust Concentration without elutriation of coarse particles. International Journal Devoted to the Measurement and Description of Particle and Bulk Properties and Disperse Systems. Wyd. Chemie GmbH Weinheim.
- Armbruster L., Breuer H., Reisner M., 1983. Wirkungsbezogene Messung und Bewertung des Staubes im Steinkohlenbergbau. Glückauf. Essen, 17.
- Bauer H. D., 1982. Leichtmasken für den Steinkohlenbergbau. Kompass. Bochum.
- Bauer H. D., 1982. Staubstromteilung. Versuche zur Einschränkung der Staubaubreitung. Kompass. Bochum.
- Bauer H. D., 1983. Entwicklung und Erprobung von haubenförmigen Staubschutzabdeckungen. Kompass Bochum.
- Becker H., Göretz H., Kemper F., 1983. Staubbekämpfung bei der schneidenden Gewinnung. Silikosebericht Band 14. Essen.
- Bobrowski D., 1980. Probabilistyka w zastosowaniach technicznych. WNT Warszawa.
- Bradecki W., Studenski R., 1994. Program redukcji pylicy w górnictwie węgla kamiennego. Przegląd Górniczy. Katowice, 2.
- Bradecki W., 1998. Zadania urzędów górniczych w 1998 roku. Bezpieczeństwo pracy i ochrona środowiska w górnictwie. WUG Katowice, 3.
- Cichowski E., 1999. Identyfikacja zagrożenia w górnictwie węgla kamiennego. Monografia 12. Wydawnictwo Politechniki Śląskiej. Gliwice.

- Cichowski E., Armbruster L., 1996. Systematische Sicherheitstechnik im Steinkohlenbergbau — ein Modell. Glückauf-Forschungshefte Essen, 1.
- Cichowski E., 1981. Badanie sprawności zraszania pyłom unoszących się w powietrzu roztworem środków powierzchniowo-aktywnych. *Archiwum Górnictwa*, t. 26, z. 2.
- Cichowski E. 1979. Design parameter choice of an air sucking water whirl nozzle. Materiały konferencyjne VI. Conference on Fluid Mechanics and Fluid Machinery. Budapeszt.
- Cichowski E., 1984. Dosieren fester Zusatzmittel ins fließende Wasser. *Bergbau Essen*, 10.
- Cichowski E., 1985. Kierowany system zatrudnienia w aspekcie ochrony zdrowia załogi. *Przegląd Górniczy*. Katowice, 11–12.
- Cichowski E., 1995. Problemy oceny zagrożenia pylicą w zakładzie górniczym. II Konferencja naukowo-techniczna na temat „Zwalczanie zagrożeń pyłowych w górnictwie”. Ustroń 10–11 maja 1995 r.
- Cichowski E. 1982. 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.
- Cichowski E., 1989. Wybieg chodnika drążonego kombajnem przy zastosowaniu odpylacza w układzie z wentylacją odrębną kombinowaną. *Mechanizacja i Automatykacja Górnictwa*. Katowice.
- Cichowski E., 1974. Problemy stosowania zwilżacza KBS przy zwalczaniu zapylenia w górnictwie. *Prace ZKMPW*, komunikat nr 91. Wyd. Śląsk. Katowice.
- Frydel W., Steindor M., 1996. Instalacje odpylające typu IO-600 oraz lutnia wirowa  $\Phi 700$ . Międzynarodowa Konferencja naukowo-techniczna pt. „Zwalczanie zagrożeń pyłowych w przemyśle górniczym na świecie”. Szczyrk 17–19.09. 1996 r.
- Gradoń L., Alkiewicz J., Bodasiński J., 1996. Sposoby techniczne wspomaganie naturalnych mechanizmów obronnych organizmu przeciw zagrożeniom pyłowym w przemyśle górniczym. Międzynarodowa Konferencja naukowo-techniczna pt. „Zwalczanie zagrożeń pyłowych w przemyśle górniczym na świecie”. Szczyrk 17–19.09. 1996 r.
- Karpiński J., 1978. Zależności przyczynowe w badaniach diachronicznych. *Prakseologia*. Warszawa, 4.
- Khair A. W., 1996. Wpływ kształtu narzędzia urabiającego na powstawanie frakcji wdychalnej pyłu. Międzynarodowa Konferencja naukowo-techniczna pt. „Zwalczanie zagrożeń pyłowych w przemyśle górniczym na świecie”. Szczyrk 17–19.09. 1996 r.
- Kucza J., Penkała E., 1996. Doświadczenia w zwalczaniu zagrożenia pyłowego w wyrobiskach korytarzowych drążonych kombajnami w kopalniach Rybnickiej Spółki Węglowej S.A. Konferencja: „Zwalczanie zagrożeń pyłowych w górnictwie”. Szczyrk.
- Kusak E., Sedlaczek J., 1995. Nowa instalacja zraszająca do kombajnów ścianowych z pompą wodną wbudowaną w maszynę. Konferencja: „Zwalczanie zagrożeń pyłowych w górnictwie”. Ustroń.
- Leeming J. J., 1993. Zwalczanie zapylenia w wyrobiskach ścianowych — doświadczenia górnictwa USA i Wielkiej Brytanii. Konferencja „Zwalczanie zapylenia w wyrobiskach ścianowych”. Szczyrk.
- Lebecki K., Bywalec T., 1999. Ocena zagrożenia zawodowego na pył w oparciu o stosowane przyrządy pomiarowe. Konferencja pt. „Zwalczanie zagrożenia pyłami szkodliwymi dla zdrowia”. Kokotek k. Lublińca 13–14 kwietnia 1999 r.
- Lemmes F., 1993. Zwalczanie zapylenia przy urabianiu kombajnami ścianowymi. Konferencja naukowa pt. „Zwalczanie zapylenia w wyrobiskach ścianowych”. Szczyrk.
- Leniewicz E., 1975. Teoria zdarzeń w ujęciu prakseologicznym. *Prakseologia*. Warszawa, 1.
- Muschick E., 1986. Vorschlag eines mathematischen Kompromisses für eine effektive Dimensionierung elektrischer Energieversorgungsanlagen. Materiały Międzynarodowego Sympozjum: „Jakość zasilania układów sieciowych”. Politechnika Śląska. Gliwice.
- Muszewski J., 1970. Bezpieczeństwo konstrukcji budowlanych. Wyd. „Arkady”, Warszawa.
- Ogórek Z., 1993. Możliwość zastosowania urządzeń odpylających firmy Hölter podczas prowadzenia chodników kombajnami. IX Tydzień Techniki ROW. Rybnik.
- Pańków A., 1998. Proces doskonalenia systemów automatyzacji i kontroli pracy kombajnów ścianowych w Polsce. *Mechanizacja Górnictwa i Automatykacja Górnictwa*. Katowice, 10.

- Pasenkiewicz K., 1968. Logika ogólna. PWN, Warszawa.
- Pelc J., Przełęcki M., Szaniawski K., 1957. Prawa nauki. PWN, Warszawa.
- Piłaciński W., 1993. Metody badania i dopasowania masek do twarzy użytkowników. IX Tydzień Techniki ROW. Rybnik.
- Pszczółowski T., 1977. Celowość, skuteczność, efektywność. Prakseologia. Warszawa, 3.
- Pszczółowski T., 1988. Dylematy sprawnego działania. Wiedza Powszechna, Warszawa.
- Reisner M., 1988. Ergebnisse epidemiologischer Untersuchungen für den Schutz vor Staublungenerkrankungen. Glückauf. Essen, 113.
- Robichaud L., Boisvert M., Robert J., 1968. Grafy przepływu sygnału. PWN, Warszawa.
- Rüssman F., 1993. Zwalczanie zapylenia przy urabianiu kombajnami firmy Eickhoff. Konferencja naukowa pt. „Zwalczanie zapylenia w wyrobiskach ścianowych”. Szczyrk.
- Sobala J., Rosmus P., 1996. System zarządzania bezpieczeństwem pracy w zakładach górniczych. Główny Instytut Górnictwa. Katowice.
- Vekeny H., 1981. Die quantitative Untersuchung einer Silikosegefahr in den Pecser Kohlengruben, Staub-Rheinhalt. Luft. Sankt Augustin, 10.

REVIEW BY: DR HAB. INŻ. STANISŁAW KRZEMIEŃ, GLIWICE

*Received: 03 March 2000.*