

EDWARD CICHOWSKI*

RYZIKO WYDOBYCIA WYNIKAJĄCE Z ZAGROŻENIA METANOWEGO

THE RISK OF MINING RESULTING FROM METHANE HAZARD

W artykule rozpatruje się warunki konieczne następstwa zdarzeń poprzedzającego wypadki lub/i szkody materialne, których jedną z przyczyn pośrednich był wybuch metanu. Przyjęto, że każdy skutek implikuje konieczne następstwo zdarzeń, które go poprzedza (Cichowski, Armbruster 1996; Cichowski, Faber 2002), a którego składniki istotne przedstawiają przyczynowość wypadkową, gdyż są zawsze prawdziwe, gdy prawdziwy jest rozpatrywany skutek ostateczny. Identyfikację przyczynowości wypadkowej przy wybuchu metanu utrudnia fakt, że zarówno inicjacja, jak i skutki wybuchu metanu mogą być skojarzone¹ z różnymi zmianami parametrów środowiska pracy (Kozłowski 2000). Ryzyko wydobycia wynika z przyczynowości wypadkowej zachodzącej przy deficytach bezpieczeństwa. Zostało ono rozpatrzone dla zagrożenia metanowego. Dla zobrazowania zachodzącego następstwa zdarzeń skojarzonego z wybuchem metanu zastosowano podstawowe funkcory logiczne oraz przyjęto topologiczne odwzorowanie zachodzącego następstwa zdarzeń.

Słowa kluczowe: zagrożenie bezwzględne, warunek konieczny następstwa zdarzeń, przyczynowość wypadkowa, poziom bezpieczeństwa, deficyt bezpieczeństwa

Accidents, occupational diseases and material damages, in short every harmfulness occurring in a mining plant, is an undesirable effect of the conducted mining. The harmfulness results from a chain of necessary causes that precedes it

The essential components of the chain of causes are the events both on the side of the work environment parameters, and on the side of the crew (activity) In the case of methane explosion hazard, on account of the complex character of the events taking place, identification of accident causality requires a simplified approach to this problem, most frequently without investigation of the occurring processes (Karpinski 1978).

¹ Skojarzona zmiana parametrów środowiska pracy jest to zdarzenie złożone, zwłaszcza niepożądanych zmian parametrów litosfery lub/i atmosfery, które współwystępując wzajemnie wpływają na intensywność swojego występowania (Cichowski 1999)

In an analysis carried out in item 3, presented is a chain of necessary conditions preceding an accident and/or material damage, whose one of the indirect causes was methane explosion (formula 4).

It was assumed that the essential components of the necessary sequence of events decide about accident causality, which is based on the fact that their occurrence is the necessary condition for the occurrence of the undesirable final effect.

The figure, apart from the necessary conditions of the sequence of events (graph nodes), presents accident causality (direct cause, indirect causes, principal conditions of the necessary sequence of events and their original causes).

Essential components of the necessary sequence of events (accident causality) preceding a recognized accident *WY* or/and material damage *SM* are as follows:

ZW — accident event,

AZ^P — activation of accident hazard,

y^S — staying of the crew,

$AZ_{a,g}^S$ — undesirable changes of work environment parameters associated with the effects of a methane explosion,

(An associated change of work environment parameters is a complex event, especially of undesirable changes of parameters of lithosphere or/and atmosphere that when appearing concurrently, reciprocally effect the intensity of their occurrence — Cichowski 1999)

AZ_a^S — explosion of coal dust,

AZ_b^S — exogenic fire,

AZ_c^S — rock burst,

AZ_d^S — gravitational rock fall,

(Gravitational rock fall is an undesirable effect of the sequence of events initiated at the moment of the loss of balance between the force of gravity of the partly debonded rock body, and the force of its cohesion with the rock mass — Cichowski 1999)

AZ_e^S — sudden inrush of water or quicksand,

(Sudden inrush of water or quick sand to mine excavations means an unexpected breaking of the insulation character of the rocks separating the excavation from the source of water hazard and a sudden inflow to the mine of water and/or quicksand of flow intensity exceeding the capacity of the main drainage — Cichowski 1999)

AZ_f^S — loss of stable balance by various work environment objects,

(The loss, by the work environment objects, of momentary stable balance is the passing of the work environment objects from the stable to unstable balance — Cichowski 1999)

AZ_g^S — undesirable ventilation stream,

(Undesirable ventilation stream is the ventilation stream with parameters dangerous to health or life of the crew or to the mining plant — Cichowski 1999)

AZ_{wm}^A — methane explosion,

mk — a flame of necessary temperature and energy ($\geq 635^\circ\text{C}$, $\geq 2,8 \cdot 10^{-4}$ J),

RZ_{wg}^A — the necessary concentration of methane (5–15%),

RZ_{tg}^A — the necessary concentration of oxygen (12–20%),

AZ_{18}^S — undesirable changes of work environment parameters that in the phase of full hazard (fatal conditions) generate a flame or/and are the cause of necessary concentration of methane or/and oxygen,

(The phase of full hazard (Gefährdung (Skiba 1985)) represents the state in the work environment conditioned by the occurring deficits of safety at which, on account of activation of the accident hazard, accidents and/or material damages are possible — Cichowski 1999)

AZ_1^S — undesirable firing of the shooting agents,

Undesirable explosion of material or shooting agent is an unintended explosion or effect of the shooting action carried out not in keeping with the required regulations of the Code of Safety — Cichowski 1999)

- AZ_2^S — sparking of mechanical installations resulting of technical damage,
(*A technical damage of an object is an undesirable sequence of events resulting from the loss of balance between the strain or load of a technical object and its strength — Cichowski 1999*)
- AZ_3^S — electric or electrostatic discharge,
(*A spark or arc discharge is a momentary electric current flowing through a dielectric as a result of a loss of balance between the intensity of the electric field and the strength of the dielectric (for break down) — Cichowski 1999*)
- AZ_4^S — egzogenic fire,
- AZ_5^S — endogenic fire,
- AZ_6^S — rock burst,
- AZ_7^S — sudden inrush of water or quicksand,
- AZ_8^S — undesirable ventilation stream,
- $jq_{a.g.}, jq_{1:12}$ — the uncontrolled events taking place in the phase of conventional hazard (in normal conditions),
(*Uncontrolled events are the uncontrolled: processes, work environment parameters, human activities, concentration or intensity of the harmful factor, exposition of the crew to harmful factors when there is no effective prevention (Cichowski 1999). The phase of conventional hazard (Cichowski 1999) — Gefahr (Skiba 1985) is the state determined by the occurring deficits of safety without momentary possibility of the direct conditioning of accidents and/or material damages*).
- jq_a — the uncontrolled sediment of the explosive coal dust,
- jq_1 — uncontrolled firing of the shooting agent,
- jq_2 — the uncontrolled operation of a machine or installation,
- jq_3 — the uncontrolled increase of electric field intensity, or uncontrolled drop of dielectric strength,
- jq_b, jq_4 — uncontrolled appearance of a flame, combustible material or/and oxygen,
- jq_5 — uncontrolled self-accelerating process of coal oxidation,
- jq_c, jq_6 — uncontrolled accumulation of the elastic energy in the rock mass and/or uncontrolled decrease of its strength preceding rock burst,
- jq_d — the uncontrolled process of loosening of rock mass,
- jq_e, jq_7 — uncontrolled decrease of permeability of the rock mass or/and increase of the total pressure of water source hazard,
- jq_f — the uncontrolled possibility of the loss of momentary stable balance by the objects,
- jq_g, jq_8 — uncontrolled gas concentration in the ventilation stream,
- jq_9 — uncontrolled welding work,
- jq_{10} — uncontrolled operation of a sparking electric device,
- jq_{11} — the uncontrolled process of mechanical mining of firm rocks,
- jq_{12} — uncontrolled process of tobacco smoking as a result of which appears an uncontrolled flame,
- ik — uncontrolled doings by the crew, e.g. tobacco smoking,
- hq — doings of the crew,
- hs — state of work space,
- $gq_{1:7,9:11}, gq_{a.g.}$ — processes taking place in the work environment directly preceding their uncontrolled course,
- gq_8 — concentration of methane in the excavation directly preceding an uncontrolled concentration of methane,
- $gq_{z 1:7, 9:11}, gq_{z a.g.}, gq_{d 1:7, 9:11}, gq_{d a.g.}$ — indirect influences of the crew $gq_{z 1:7, 9:11}, gq_{z a.g.}$ and technical inspection $gq_{d 1:7, 9:11}, gq_{d a.g.}$ on the processes taking place,
- gq_{z8}, gq_{d8} — indirect influences of the crew gq_{z8} and technical inspection gq_{d8} on the manual measurement of methane concentration in the ventilation stream by means of an individual methanometer,
- jq — absolute methane emission, or the stream of methane emitted to excavations,

| | |
|--------------|--|
| f_s | — the occurring methane content or total methane content in carbon rocks (m^3 CH ₄ in a ton of pure carbon substance), |
| eq | — the mining work taking place, |
| eq_z, eq_d | — the influence of the crew eq_z and technical inspection eq_d on the mining work, |
| dq | — traffic of the mining plant, constituting the original cause of the necessary sequence of events, |
| dq_k | — influence of the management on the traffic of the mining plant, |
| cq | — activity of the crew constituting the original cause of the necessary sequence of events, |
| cq_d | — influence of the technical inspection on the crew, |
| bq | — activity of the technical inspection constituting the original cause of the necessary sequence of events, |
| bq_k | — influence of the management on the activity of the technical inspection, |
| aq | — activity of the management being the original cause of the necessary sequence of events, |
| aq_w | — influence of the mining authorities on the activity of the management. |

As a result of the retrospective analysis carried out, the causality of accidents or/and material damages, one of the indirect causes of which was methane explosion, has been determined. Both with the initiation, and the effects of methane explosion, other undesirable changes of the work environment parameters are associated, e.g. exo- and endogenic mining fire, rock bump, sudden inrush of water, shooting operations carried out not in agreement with the regulations of the Code of Safety, sparking in an electric installation, loss of stable balance of the various objects of the mining work environment etc. Accident causality is the starting point for an assessment of the risk of mining, resulting from the relative hazard taking place. The essence of the relative hazard are all the selected indirect causes, including also the associated ones, conditioned by the occurring deficits of safety. When analysing, in detail, the causality of accidents and/or material damages, mentioned were, by the way of an example, the deficits of safety creating conditions favourable to an undesirable sequence of events.

Key words: absolute hazard, necessary condition of the sequence of events, accident causality, safety level, deficit of safety, progressive

1. Wprowadzenie

Wypadki, choroby zawodowe (Cichowski 2000) i szkody materialne, krótko — wszelka szkodliwość występująca w zakładzie górniczym jest niepożądanym skutkiem prowadzonego wydobycia. Szkodliwość wynika z łańcucha warunków koniecznych (łańcucha przyczyn²), który ją poprzedza. Składnikami istotnymi łańcucha przyczyn są zdarzenia zarówno po stronie parametrów środowiska pracy, jak i po stronie załogi (działanie³).

Przyczyny zachodzą w różnych uwarunkowaniach (Bebrowski 1980), co można zdefiniować jako zagrożenie bezwzględne⁴ występujące w środowisku pracy (Cichow-

² Prawidłowość statystyczna zachodzi dzięki przyczynie, a często i warunkom głównym, które występują we wszystkich przypadkach, gdy zajdzie rozpatrywany skutek (zmiana jakościowa), czyli stanowią jego warunek konieczny (Pele, Przełęcki, Szaniawski 1957).

³ Działanie jest to całość (suma) reakcji czynnika ludzkiego na podstawie podjętych decyzji. Jeśli człowiek jest przyczyną skutku nazywamy go sprawcą, zaś stan w środowisku pracy będący skutkiem działania — sprawstwem (Pszczółowski 1977).

⁴ Zagrożenie bezwzględne, czyli rzeczywiste, są to wszelkie stany (na ogół niezidentyfikowane) zarówno po stronie parametrów środowiska pracy, jak i po stronie załogi, które stwarzają warunki progresywne (sprzyjające) dla niepożądanego następstwa zdarzeń poprzedzającego szkodliwość, gdy pojawi się łańcuch przyczyn (Cichowski 1985; Cichowski, Armbruster 1996).

ski 1985). Zagrożenie bezwzględne ma charakter probabilistyczny, natomiast bezpieczeństwo (Krzemień 1992; Niczyporuk 1997; Sobala, Rosmus 1996; Zacharzewski, Rydlewski 1996) jest względne, gdyż zapewniają je utrzymywane poziomy bezpieczeństwa⁵ (podejście półdeterministyczne prezentowane w tym opracowaniu) (Muśchick 1986; Muszewski 1970), stwarzające warunki regresywne dla niepożądanego następstwa zdarzeń. Wszelkie odchylenia w tym zakresie są istotą występującego zagrożenia względnego, z którego wynika ryzyko wydobycia⁶. Kompleksowa analiza przyczynowości wypadkowej stanowi punkt wyjścia do identyfikacji zagrożenia i do oceny ryzyka wydobycia (Nowakowska 1975).

W przypadku zagrożenia wybuchem metanu, ze względu na skomplikowany charakter zachodzących zdarzeń, identyfikacja przyczynowości wypadkowej wymaga uproszczonego podejścia do tego zagadnienia, najczęściej bez wnikania w istotę zachodzących procesów (Karpieński 1978).

Rozpatruje się warunki konieczne następstwa zdarzeń poprzedzającego szkodliwość. Przyjmuje się, że każdy skutek implikuje konieczne następstwo zdarzeń, którego składniki istotne stanowią przyczynowość wypadkową, gdyż są zawsze prawdziwe, gdy prawdziwy jest skutek ostateczny. Identyfikację przyczynowości wypadkowej, przy wybuchu metanu utrudnia fakt, że zarówno inicjacja jak i skutki wybuchu mogą być skojarzone z różnymi zachodzącymi zmianami parametrów środowiska pracy (Konopko i in. 1992 do 2002).

W analizie prowadzonej w rozdziale 3. przedstawiono łańcuch warunków koniecznych poprzedzających wypadek lub/i szkodę materialną, których jedną z przyczyn pośrednich był wybuch metanu. Zastosowano podstawowe funkcory logiczne: \wedge koniunkcji, \vee alternatywy, \Rightarrow implikacji, \equiv równoważności i \neg negacji (Pasenkiewicz 1968) i odwzorowano zachodzące następstwo zdarzeń za pomocą grafu⁷ (Karpieński 1978; Robichaud, Boisvert, Robert 1968).

Każdy wypadek WY lub/i szkodę materialną SM implikuje cały łańcuch warunków koniecznych Π_k od Z_k do A_k . (Pszczółowski 1977).

$$WY \vee SM \Rightarrow \Pi_k \equiv \{Z_k \Rightarrow Y_k \Rightarrow \dots \Rightarrow A_k\} \Rightarrow \{Z_k \wedge Y_k \wedge \dots \wedge A_k\} \quad (1)$$

gdzie:

WY — wypadek,

⁵ Poziom bezpieczeństwa jest to stan w środowisku pracy bądź po stronie jego obiektów, bądź po stronie załogi, na ogół sankcjonowany obowiązującymi przepisami BHP, stwarzający warunki regresywne (nie sprzyjające) dla niepożądanego zajścia poszczególnych przyczyn szkodliwości (Cichowski 1999).

⁶ Bezwzględne ryzyko wydobycia jest to prawdopodobieństwo powstania niepożądanych skutków ostatecznych w postaci wypadków lub/i szkód materialnych. Względne ryzyko wydobycia stwarzają zarówno liczba, jak i jakość występujących deficytów bezpieczeństwa, zgodnie z przyjętym systemem gradacji ryzyka wydobycia (Cichowski 1999).

⁷ 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 w węzłach zamieniają się w przyczyny lub/i warunki główne następstwa zdarzeń (Cichowski 1999).

SZ — szkoda materialna,

$\Pi_k \Rightarrow \{Z_k \Rightarrow Y_k \Rightarrow \dots \Rightarrow A_k\}$ — łańcuch kolejnych warunków koniecznych następstwa zdarzeń (Cichowski 1999).

Zajście wypadku lub/i szkody materialnej wymaga uprzedniego pojawienia się wszystkich składników istotnych koniecznego następstwa zdarzeń. Negacja koniecznego łańcucha zdarzeń, wynikająca z zaprzeczenia któregośkolwiek z jego składników istotnych, implikuje zaprzeczenie rozpatrywanych, niepożądanych skutków ostatecznych (Pasenkiewicz 1968).

$$(WY \vee SM \Rightarrow \Pi_k) \Rightarrow (\overline{\Pi_k} \Rightarrow \overline{WY} \wedge \overline{SM}) \quad (2)$$

Logiczne zaprzeczenie koniecznego łańcucha zdarzeń nie oznacza jeszcze jego rzeczywistego zaprzeczenia, jak i skutków ostatecznych. Rzeczywiste zaprzeczenie określonych składników istotnych rozpatrywanego koniecznego łańcucha zdarzeń może wynikać jedynie z wprowadzenia do środowiska pracy dodatkowo warunków ubocznych (poziomów bezpieczeństwa, sankcjonowanych obowiązującymi przepisami BHP), stwarzających warunki regresywne dla niepożądanego następstwa zdarzeń (Muszewski 1970; Muschick 1986).

Modelem celowej techniki bezpieczeństwa jest więc łańcuch zdarzeń pożądaných, tj. składników istotnych koniecznego następstwa zdarzeń zachodzących przy utrzymywanych poziomach bezpieczeństwa (Cichowski, Armbruster 1996). Negacja poziomów bezpieczeństwa jest istotą zagrożenia względnego występującego w środowisku pracy. Łańcuch zdarzeń niepożądanych oznacza, że składniki istotne koniecznego następstwa zdarzeń (przyczyny) zachodzą przy deficytach bezpieczeństwa⁸.

2. Gradacja poziomów bezpieczeństwa i podejmowanego ryzyka wydobycia

Warunek $WY \vee SZ \Rightarrow \Pi_k$, odpowiada początkom górnictwa, gdy nie ustanowiono jeszcze jakichkolwiek poziomów bezpieczeństwa. Poziom bezpieczeństwa wynosił wtedy $P = 0$, a ryzyko wydobycia było maksymalne $R = 1$, czyli brak jakichkolwiek poziomów bezpieczeństwa sankcjonowanych obowiązującymi przepisami. Ryzyko niepożądanego zajścia poszczególnych składników istotnych koniecznego następstwa zdarzeń miało wtedy wartość logiczną 1.

Identyfikując zagrożenie w dzisiejszym górnictwie, pojawiające się deficyty bezpieczeństwa przeważnie nie przedstawiają poziomu bezpieczeństwa $P = 0$ zgodnie z prawem wyłącznego środka (Pasenkiewicz 1968), gdyż przedstawiają jednak pewien poziom bezpieczeństwa P w przedziale $0 \leq P < 1$, z wyłączeniem 1, którą reprezentuje przyjęty poziom bezpieczeństwa.

⁸ Deficyty bezpieczeństwa po stronie parametrów środowiska pracy i negatywny wpływ czynnika ludzkiego są to stany występujące w środowisku pracy, stwarzające warunki progresywne (sprzyjające) dla niepożądanego następstwa zdarzeń na obecnym etapie poznania zagrożenia bezwzględne (Cichowski 1999).

Poziom bezpieczeństwa P jaki przedstawia określony deficyt bezpieczeństwa rozpatruje się więc ze względu na występujące ryzyko R (prawdopodobieństwo niepożądanego zajścia określonego składnika istotnego koniecznego następstwa zdarzeń).

Szczegółowa analiza prawdopodobieństwa niepożądanego zajścia poszczególnych przyczyn szkodliwości umożliwia ponadto wykrycie deficytów bezpieczeństwa, stanowiących negację poziomów bezpieczeństwa, które jeszcze nie zyskały rangi obowiązującego przepisu.

Poza nielicznymi przypadkami, np. deficytu bezpieczeństwa w zakresie nakazanego standardu bezpieczeństwa jakim jest najwyższe dopuszczalne stężenie zapylenia (NDS), przy zagrożeniu pylicowym (Cichowski 2000) ocena rozmiarów występującego deficytu bezpieczeństwa i związanego z nim ryzyka wydobycia musi być częściowo oparta na opinii specjalistów w zakresie rozpatrywanego zagrożenia.

Aby jednak zmniejszyć subiektywność oceny do koniecznego minimum, występujące deficyty bezpieczeństwa rozpatruje się w czterech grupach przyporządkowując każdej grupie określony przedział poziomów bezpieczeństwa P i przedział występującego ryzyka wydobycia R , przy czym poziom bezpieczeństwa określonych deficytów bezpieczeństwa spada, a ryzyko wydobycia wzrasta w miarę zbliżania się do fazy zagrożenia pełnego⁹ (niepożądanych skutków ostatecznych). Przeprowadzono gradację ryzyka wydobycia zakładając, że występujące deficyty bezpieczeństwa w zakresie nakazanych parametrów środowiska pracy stwarzają największe ryzyko wydobycia, gdyż bezpośrednio warunkują inicjację fazy zagrożenia pełnego.

Reasumując można stwierdzić, że występujące deficyty bezpieczeństwa, mimo że stanowią negację przyjętych poziomów bezpieczeństwa, przedstawiają jednak pewien poziom bezpieczeństwa, w stosunku do stanu $SZ \Rightarrow \Pi_k$, w przedziale $0 \leq P < 1$. Przyjęto, że zmniejszający się poziom bezpieczeństwa P zwiększa ryzyko niepożądanego pojawienia się określonego składnika istotnego koniecznego następstwa zdarzeń R zgodnie z zależnością (Cichowski 1999):

$$R = 1 - P \quad (3)$$

Przyjęto następującą gradację ryzyka wydobycia, występującego już w fazie zagrożenia umownego¹⁰, poprzedzającej fazę zagrożenia pełnego:

Ryzyko nieakceptowalne (największe) stwarzają deficyty bezpieczeństwa w zakresie nakazanych parametrów środowiska pracy, tj. np. w zakresie standardów bezpieczeństwa, jeśli zostały ustanowione, pożądanym parametrów środowiska pracy lub nakazanej profilaktyki technicznej

$$0 \leq P < 0,25, \quad 0,75 < R \leq 1$$

⁹ Faza zagrożenia pełnego (Gefährdung) przedstawia stan w środowisku pracy warunkowany występującymi deficytami bezpieczeństwa, przy którym wskutek aktywizacji zagrożenia jest możliwa szkodliwość (Skiba 1985).

¹⁰ Faza zagrożenia umownego (Gefahr) jest to stan wyznaczony przez występujące deficyty bezpieczeństwa bez chwilowej możliwości bezpośredniego warunkowania szkodliwości (Skiba 1985).

Ryzyko istotne stwarzają deficyty bezpieczeństwa w zakresie wdrożenia profilaktyki technicznej zmierzającej do utrzymania nakazanych parametrów środowiska pracy.

$$0,25 \leq P < 0,5; \quad 0,5 < R \leq 0,75$$

Ryzyko umiarkowane stwarza negatywny wpływ kierownictwa, dozoru i załogi w zakresie utrzymania różnych poziomów bezpieczeństwa w środowisku pracy.

$$0,5 \leq P < 0,75; \quad 0,25 < R \leq 0,5$$

Ryzyko akceptowalne stwarza negatywny wpływ wyższego szczebla hierarchii władzy, tj. dozoru, kierownictwa i władz górniczych, na niższy szczebel hierarchii władzy, tj. odpowiednio załogę, dozór i kierownictwo ZG:

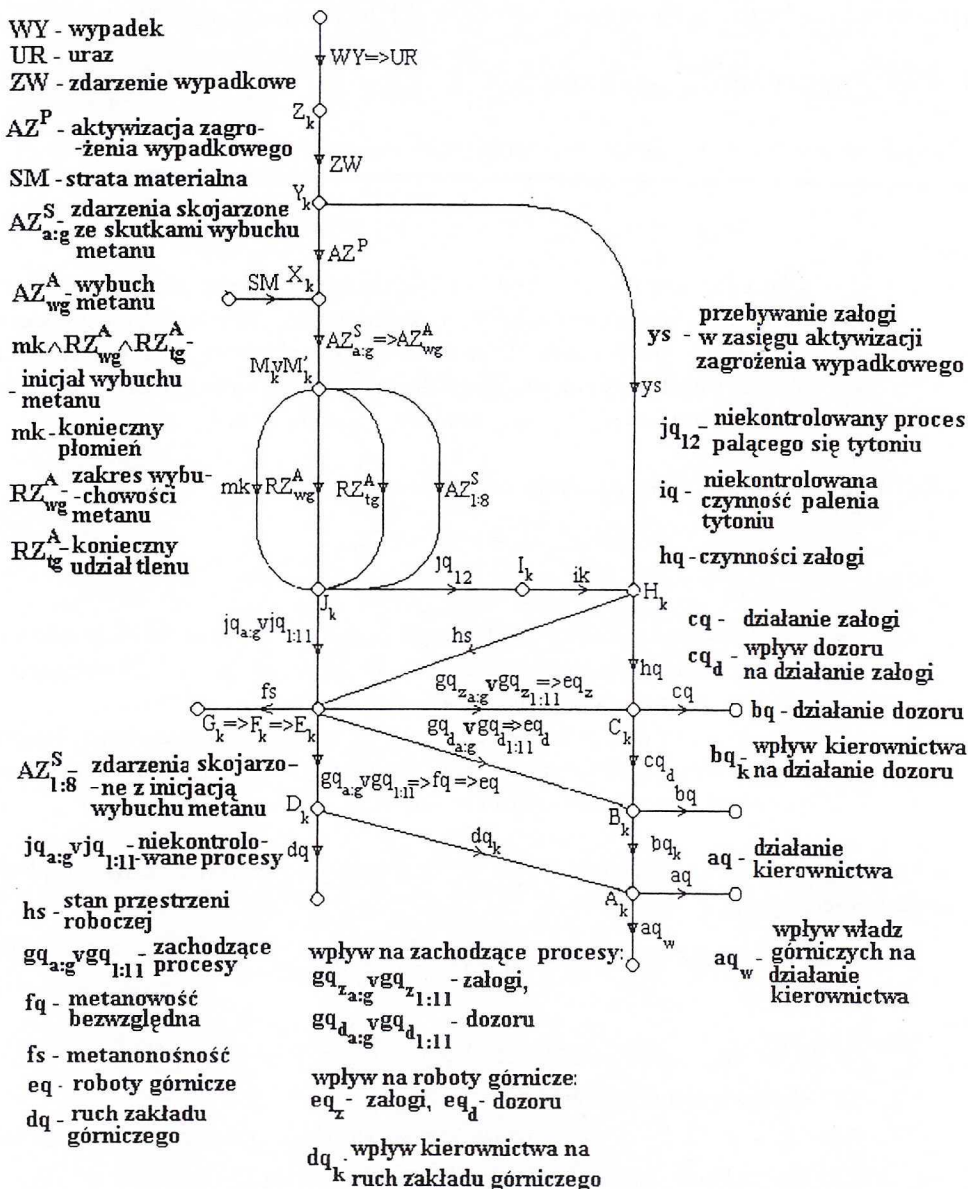
$$0,75 \leq P < 1 \quad 0 < R \leq 0,25$$

3. Identyfikacja niepożądanego następstwa zdarzeń

W wyniku przeprowadzonej analizy retrospektywnej wychodząc od zaistniałego wypadku lub/i szkody materialnej wyznaczono konieczne następstwo zdarzeń poprzedzające wymienione niepożądane skutki ostateczne (wzór 4).

$$\begin{aligned}
 WY \vee SM \Rightarrow UR &\Rightarrow \{Z_k \equiv \{ZW\}\} \Rightarrow & (4) \\
 &\Rightarrow Y_k \equiv \{AZ^P \wedge ys\} \Rightarrow \\
 &\Rightarrow X_k \equiv \{AZ_{a:g}^S \Rightarrow AZ_{wg}^P\} \Rightarrow \\
 &\Rightarrow M_k \equiv \{mk \wedge RZ_{wg}^A \wedge RZ_{tg}^A\} \Rightarrow \\
 &\Rightarrow M_{k'} \equiv \{AZ_{1:8}^S\} \Rightarrow \\
 &\Rightarrow J_k \equiv \{jq_{1:12} \vee jq_{a:e}\} \Rightarrow \\
 &\Rightarrow I_k \equiv \{ik\} \Rightarrow \\
 &\Rightarrow H_k \equiv \{hq \wedge hs\} \Rightarrow \\
 &\Rightarrow G_k \equiv \{(gq_{a:g} \vee gq_{1:11}) \wedge (gq_{z:a:g} \vee gq_{z:1:11}) \wedge (gq_{d:a:g} \vee gq_{d:1:11})\} \Rightarrow \\
 &\Rightarrow F_k \equiv \{fq \wedge fs\} \Rightarrow \\
 &\Rightarrow E_k \equiv \{eq \wedge eq_z \wedge eq_d\} \Rightarrow \\
 &\Rightarrow D_k \equiv \{dq \wedge dq_k\} \Rightarrow \\
 &\Rightarrow C_k \equiv \{cq \wedge cq_d\} \Rightarrow \\
 &\Rightarrow B_k \equiv \{bq \wedge bq_k\} \Rightarrow \\
 &\Rightarrow A_k \equiv \{aq \wedge aq_w\} \Rightarrow \\
 &\Rightarrow aq \wedge bq \wedge cq \wedge dq
 \end{aligned}$$

Przyjęto, że składniki istotne koniecznego następstwa zdarzeń stanowią o przyczynowości wypadkowej, co jest uzasadnione tym, że ich zajście stanowi warunek konieczny niepożądanego skutku ostatecznego.



Rys. 1. Przyczynowość wypadku lub/i szkody materialnej, których jedną z przyczyn pośrednich był wybuch metanu

Fig. 1. Accident causality whose indirect cause was methane explosion

Rysunek 1 poza warunkami koniecznymi następstwa zdarzeń (węzły grafu), przedstawia przyczynowość wypadkową (przyczynę bezpośrednią, przyczyny pośrednie, warunki główne koniecznego następstwa zdarzeń oraz jego praprzyczyny).

Poniżej opisano składniki istotne koniecznego następstwa zdarzeń (przyczynowość wypadkowa) poprzedzającego uznany wypadek *WY* lub/i szkodę materialną.

3.1. Faza zagrożenia pełnego

Wypadek przy pracy implikuje uraz, który z kolei implikuje warunek konieczny Z_k :

$$WY \Rightarrow UR \Rightarrow Z_k \equiv \{ZW\} \quad (5)$$

gdzie:

ZW — zdarzenie wypadkowe, czyli niebezpieczne zetknięcie się załogi z produktami wybuchu metanu lub produktami niepożądanych zmian parametrów środowiska pracy z nim skojarzonymi. **Umiarowane** ryzyko wydobycia stwarza **negatywny wpływ załogi, dozoru i kierownictwa w zakresie udzielania i organizacji pierwszej pomocy i ratownictwa**.

Zdarzenie wypadkowe ZW implikuje warunek konieczny Y_k :

$$ZW \Rightarrow Y_k \equiv \{AZ^P \wedge y_s\} \quad (6)$$

gdzie:

AZ^P — aktywizacja zagrożenia wypadkowego, czyli niebezpieczne dla życia lub zdrowia produkty wybuchu metanu lub/i skojarzonych z nimi niepożądanych zmian parametrów środowiska pracy,
 y_s — przebywanie załogi w zasięgu aktywizacji zagrożenia wypadkowego. **Umiarowane** ryzyko wydobycia stwarza **negatywny wpływ załogi, dozoru i kierownictwa w zakresie ochron osobistych**.

Aktywizację zagrożenia wypadkowego AZ^P lub/i szkodę materialną SZ implikuje warunek konieczny X_k :

$$AZ^P \vee SM \Rightarrow X_k \equiv \{AZ_{a:g}^S \Rightarrow AZ_{wg}^A\} \quad (7)$$

gdzie:

$AZ_{a:g}^S \equiv AZ_a^S \vee AZ_b^S \vee AZ_c^S \vee AZ_d^S \vee AZ_e^S \vee AZ_f^S \vee AZ_g^S$ — zdarzenia skojarzone ze skutkami wybuchu metanu,

$AZ_a^S \equiv \{AZ_{wp}^A \Rightarrow AZ_{wg}^A\}$ — wybuch pyłu węglowego najczęściej skojarzony jest z uprzednim wybuchem metanu (Cybulski 1973; Cichowski 1993),

$AZ_b^S \equiv \{AZ_{eg}^A \Rightarrow AZ_{wg}^A\}$ — pożar egzogeniczny może być skojarzony z uprzednim wybuchem metanu. Do pożarów egzogenicznych należy również zaliczyć palące się stropowe nagromadzenie metanu (Strumiński 1987),

- $AZ_c^S \equiv \{AZ_{tp}^L \Rightarrow AZ_{wg}^A\}$ — tąpnięcie może być skojarzone z uprzednim wybuchem metanu (Konopko 1996),
- $AZ_d^S \equiv \{AZ_{op}^L \Rightarrow AZ_{wg}^A\}$ — grawitacyjny opad skał¹¹ może być również skojarzony z uprzednim wybuchem metanu (Konopko i in. 1992–2002),
- $AZ_e^S \equiv \{AZ_{wd}^L \Rightarrow AZ_{wg}^A\}$ — nagłe wdarcie wody lub kurzawki może być również skojarzone z uprzednim wybuchem metanu (Konopko i in. 1992–2002),
- $AZ_f^S \equiv \{AZ_{us}^I \Rightarrow AZ_{wg}^A\}$ — utrata równowagi stabilnej przez różne obiekty środowiska pracy¹² może być również skojarzona z uprzednim wybuchem metanu (Konopko i in. 1992–2002),
- $AZ_g^S \equiv \{AZ_{sw}^I \Rightarrow AZ_{wg}^A\}$ — niepożądany strumień wentylacyjny¹³ może być również skojarzony z uprzednim wybuchem metanu (Konopko i in. 1992–2002),
- AZ_{wg}^A — wybuch metanu.

Wybuch metanu AZ_{wg}^A implikuje warunek konieczny M_k , stanowiący tzw. inicjał wybuchu metanu (Cybulski 1973; Kozłowski, Myszor, Sobala 1988):

$$AZ_{wg}^A \Rightarrow M_k \equiv \{mk \wedge RZ_{wg}^A \wedge RZ_{tg}^A\} \quad (8)$$

gdzie:

- mk — płomień o temperaturze nie mniejszej niż 635°C i energii nie mniejszej niż $2,8 \cdot 10^{-4}$ J,
- RZ_{wg}^A — rzeczywisty próg zagrożenia wybuchem metanu, ze względu na udział procentowy tego gazu w powietrzu, a wynoszący 5,3–15%, przy zawartości w powietrzu około 18% tlenu (konieczne stężenie metanu),
- RZ_{tg}^A — rzeczywisty próg zagrożenia wybuchem metanu, ze względu na udział procentowy tlenu, a wynoszący 12–20% (konieczne stężenie tlenu).

Inicjał wybuchu metanu ($mk \wedge RZ_{wg}^A \wedge RZ_{tg}^A$) względnie jego składniki istotne, w warunkach awaryjnych może również wynikać z warunku koniecznego M_k' (Bądzewicz 1981):

$$mk \vee RZ_{wg}^A \vee RZ_{tg}^A \Rightarrow M_k' \equiv \{AZ_{1;8}^S\} \quad (9)$$

¹¹ Grawitacyjny opad skał jest to niepożądany skutek następstwa zdarzeń zainicjowanego w momencie zachwiania równowagi pomiędzy siłą ciężenia częściowo odspojonej bryły skalnej a siłą jej spójności z górotworem (Cichowski 1999).

¹² Utrata przez obiekty środowiska pracy chwilowej równowagi stabilnej jest to przejście obiektów środowiska pracy z równowagi stabilnej do chwicznej (Cichowski 1999).

¹³ Niepożądany strumień wentylacyjny jest to strumień wentylacyjny o parametrach niebezpiecznych dla zdrowia lub życia załogi lub dla ZG (Cichowski 1999).

gdzie:

$AZ_{1:8}^S$ — niepożądane zmiany parametrów środowiska pracy, które w fazie zagrożenia pełnego (warunki awaryjne), generują płomień, inicjał lub/i są przyczyną koniecznego stężenia metanu lub/i tlenu w wyrobisku:

$AZ_1^S \equiv \{mk \Rightarrow AZ_{sr}^T\}$ — odpalenie materiałów lub/i środków strzałowych nie przebiegające zgodnie z obowiązującymi przepisami BHP¹⁴ może być skojarzone z ukazaniem się płomienia,

$AZ_2^S \equiv \{mk \Rightarrow AZ_{at}^T\}$ — zaiskrzenie obiektu spowodowane awarią techniczną¹⁵ może być skojarzone z ukazaniem się płomienia,

$AZ_3^S \equiv \{mk \Rightarrow AZ_{we}^T\}$ — wyładowanie elektryczne, tj. wyładowanie łukowe, iskrowe lub elektrostatyczne, może być skojarzone ukazaniem się płomienia,

$AZ_4^S \equiv \{mk \Rightarrow AZ_{eg}^A\}$ — pożar egzogeniczny może być skojarzony z ukazaniem się płomienia. Najczęstszą przyczyną inicjacji wybuchu metanowego przez pożar egzogeniczny jest palący się metan. Czasem pojawienie się płomienia może być skojarzone z uprzednim wybuchem gazów pożarowych (Wiemann 1990), których z kolei pojawienie się i inicjacja wybuchu mogą być skojarzone z trwającym pożarem egzogenicznym,

$AZ_5^S \equiv \{mk \Rightarrow AZ_{en}^A\}$ — pożar endogeniczny może być skojarzony z ukazaniem się płomienia,

$AZ_6^S \equiv \{(mk \wedge RZ_{wg}^A \wedge RZ_{ig}^A) \Rightarrow (AZ_{we}^T \wedge AZ_{sw}^I) \Rightarrow AZ_{tp}^L\}$ — tąpnięcie może być skojarzone z wyładowaniem elektrycznym i emisją metanu do strumienia wentylacyjnego, które poprzedzają pojawienie się inicjału.

$AZ_7^S \equiv \{(RZ_{wg}^A \wedge RZ_{ig}^A) \Rightarrow AZ_{wd}^L\}$ — nagłe wdarcie wody lub kurzawki może być skojarzone z osiągnięciem rzeczywistego progu zagrożenia wybuchem metanu,

$AZ_8^S \equiv \{(RZ_{wg}^A \wedge RZ_{ig}^A) \Rightarrow AZ_{sw}^I\}$ — niepożądany strumień wentylacyjny może być skojarzony z osiągnięciem rzeczywistego progu zagrożenia wybuchem metanu.

3.2. Faza zagrożenia umownego

Inicjał wybuchu metanu ($mk \wedge RZ_{wg}^A \wedge RZ_{ig}^A$) względnie jego składniki istotne, w warunkach normalnych implikują warunek konieczny J_k :

$$mk \vee RZ_{wg}^A \vee RZ_{ig}^A \Rightarrow J_k \equiv \{jq_{a:g} \vee jq_{1:12}\} \quad (10)$$

$jq_{a:g}, jq_{1:12}$ — niekontrolowane procesy¹⁶ zachodzące w fazie zagrożenia umownego (w warunkach normalnych), a które mogą być skojarzone z inicjacją

¹⁴ Niepożądany wybuch materiału lub środka strzałowego to niezamierzony wybuch lub skutki roboty strzałowej, przebiegającej niezgodnie obowiązującymi przepisami BHP (Cichowski 1999).

¹⁵ Awaria techniczna obiektu jest to niepożądane następstwo zdarzeń będące skutkiem zachwiania równowagi pomiędzy naprężeniem lub obciążeniem obiektu technicznego a jego wytrzymałością (Cichowski 1999).

- wybuchu metanu lub jego skutkami. **Nieakceptowalne** ryzyko wydobycia stwarzają deficyty bezpieczeństwa w zakresie **nakazanych parametrów środowiska pracy**¹⁷
- jq_a* — niekontrolowany strumień sedimentującego pyłu węglowego może być przyczyną niepożądanego osadu pyłowego (Franke 1990; Lebecki 1993; Burghammer, Scholl, Wiemann 1993) w miejscach możliwej inicjacji jak i w miejscach możliwego przeniesienia już zainicjowanego wybuchu pyłowego, co może warunkować zarówno inicjację, jak i rozwój już zainicjowanego wybuchu pyłowego będącego skutkiem wybuchu metanu. **Nieakceptowalne** ryzyko wydobycia stwarzają deficyty bezpieczeństwa w zakresie **nakazanej profilaktyki technicznej**, a dotyczącej np. nakazanej wentylacji (Pawiński, Roszkowski, Strzeмиński 1995),
- jq₁* — niekontrolowane odpalenie materiałów względnie środków strzałowych poprzedzające pojawienie się inicjału wybuchu metanu lub/i pyłu węglowego. **Nieakceptowalne** ryzyko wydobycia stwarzają deficyty bezpieczeństwa w zakresie **parametrów pożądanых**¹⁸, a dotyczące np. bezpieczeństwa środków strzałowych względem metanu i pyłu węglowego,
- jq₂* — niekontrolowana praca maszyny lub urządzenia poprzedzająca awarię techniczną, której jednym ze skutków może być ukazanie się płomienia mogącego warunkować inicjację wybuchu metanu. **Nieakceptowalne** ryzyko wydobycia stwarzają deficyty bezpieczeństwa w zakresie **parametrów pożądanых**, dotyczących np. nieiskrzącego tworzywa konstrukcyjnego.
- jq₃* — niekontrolowany wzrost natężenia pola elektrycznego lub niekontrolowany spadek wytrzymałości dielektryka poprzedzający wyładowanie iskrowe lub łukowe mogące warunkować inicjację wybuchu metanu. **Nieakceptowalne** ryzyko wydobycia stwarzają deficyty bezpieczeństwa w zakresie **parametrów pożądanых**, dotyczących np. rodzaju zastosowanego dielektryka (izolacji),
- jq_b, jq₄* — niekontrolowane pojawienie się płomienia, materiału palnego lub/i tlenu, poprzedzające pożar egzogeniczny, który może zarówno warunkować inicjację wybuchu metanu, jak i być jego skutkiem. **Nieakceptowalne** ryzyko wydobycia stwarzają deficyty bezpieczeństwa w zakresie **nakazanej profilaktyki technicznej**¹⁹, dotyczącej np. nakazanej wentylacji (Pawiński, Roszkowski, Strzeмиński 1995),

¹⁶ Zdarzenia niekontrolowane są to: niekontrolowane parametry środowiska pracy, niekontrolowane procesy, niekontrolowane czynności, niekontrolowane stężenie lub natężenie czynnika szkodliwego, niekontrolowana ekspozycja załogi na czynniki szkodliwe, przy których brak skutecznej prewencji (nadzoru) (Cichowski 1999).

¹⁷ Nakazane parametry środowiska pracy tworzą: parametry pożądane, standardy bezpieczeństwa i nakazana profilaktyka techniczna (Cichowski 1999).

¹⁸ Pożądane parametry środowiska pracy są to optymalne parametry środowiska pracy w danych warunkach zapewniające osiągnięcie co najmniej minimum komfortu, przy pełnym bezpieczeństwie pracy, które odpowiada aktualnemu rozeznaniu występującego zagrożenia bezwzględne (Cichowski 1999).

¹⁹ Nakazana profilaktyka techniczna są to środki techniczne lub technologia wydobycia nakazana zgodnie z przepisami BHP przy określonej wielkości występującego zagrożenia (Cichowski 1999).

- jq₅* — niekontrolowany samoprzyspieszający proces utleniania węgla poprzedzający pożar endogeniczny, mogący warunkować inicjację wybuchu metanu. **Nieakceptowalne** ryzyko wydobycia stwarzają deficyty bezpieczeństwa w zakresie **nakazanej profilaktyki technicznej**, dotyczącej np. uszczelniania ociosu w pobliżu tamy,
- jq_e, jq₆* — niekontrolowana akumulacja energii sprężystej w górotworze lub/i niekontrolowane obniżenie jego wytrzymałości poprzedzające tąpnięcie, które zarówno może pośrednio warunkować inicjację wybuchu metanu, jak i być jego skutkiem. **Nieakceptowalne** ryzyko wydobycia stwarzają deficyty bezpieczeństwa w zakresie **nakazanej profilaktyki technicznej**, dotyczącej np. strzelania odpężającego,
- jq_d* — niekontrolowany proces odspojenia górotworu może poprzedzić obwał (grawitacyjny opad skał), skojarzony ze skutkami wybuchu metanu. **Nieakceptowalne** ryzyko wydobycia stwarzają deficyty bezpieczeństwa w zakresie **parametrów pożądaných** dotyczących np. nakazanej w wysokich wyrobiskach ścianowych obudowy osłonowej, zmniejszającej skutki grawitacyjnego opadu skał (Konopko, Kostyk, Skórka 1979) lub **nakazanej profilaktyki technicznej**, dotyczącej np. obudowy tymczasowej nakazanej przed wykonaniem obudowy stałej,
- jq_e, jq₇* — niekontrolowane zmniejszenie szczelności górotworu lub/i zwiększenie naporu hydrostatycznego źródła zagrożenia wodnego poprzedzające nagłe wdarcie wody lub kurzawki do wyrobisk, co może warunkować inicjację wybuchu metanu. Nagłe wdarcie wody lub kurzawki może też być skojarzone ze skutkami wybuchu metanu. **Nieakceptowalne** ryzyko wydobycia stwarzają deficyty bezpieczeństwa w zakresie **standardu bezpieczeństwa**²⁰, dotyczącego np. filara ochronnego wokół źródła zagrożenia wodnego,
- jq_f* — niekontrolowana możliwość chwilowej utraty równowagi stabilnej przez obiekty środowiska pracy. Utrata chwilowej równowagi stabilnej również może być skojarzona ze skutkami wybuchu metanu. **Nieakceptowalne** ryzyko wydobycia stwarzają deficyty bezpieczeństwa w zakresie **parametrów pożądaných**, dotyczących np. nakazanych zabezpieczeń chroniących obiekty przed przesuwaniami się,
- jq_g, jq₈* — niekontrolowany strumień wentylacyjny w zakresie pomiaru stężenia metanu (Krause, Łukowicz, Kobiela 2000; Krause, Łukowicz, Gruszka 2000), jak i tlenu oraz gazów trujących lub/i duszących, który może warunkować zarówno inicjację wybuchu metanu, jak i jego skutki, tj. pojawienie się gazów trujących. **Nieakceptowalne** ryzyko wydobycia stwarzają deficyty bezpieczeństwa w zakresie **standardów bezpieczeństwa**,

²⁰ Standardy bezpieczeństwa są to ekstremalnie dopuszczalne, mierzalne parametry środowiska pracy, które w razie przekroczenia lub nieraz niedoboru w stosunku do obowiązujących przepisów BHP wymagają natychmiastowego przeciwdziałania (Cichowski 1999).

- dotyczących np. najwyższego dopuszczalnego stężenia metanu u wlotu do wyrobiska ścianowego lub najwyższego dopuszczalnego stężenia gazów trujących,
- jq_9 — niekontrolowana robota spawalnicza poprzedzająca ukazanie się koniecznego płomienia, który może warunkować inicjację wybuchu metanu. **Nieakceptowalne** ryzyko wydobycia stwarzają deficyty bezpieczeństwa w zakresie **parametrów pożądaných**, dotyczących np. nagromadzenia materiałów łatwopalnych w pobliżu miejsca dokonywania roboty spawalniczej,
- jq_{10} — niekontrolowana praca iskrzącego urządzenia elektrycznego, co może warunkować inicjację wybuchu metanu. **Nieakceptowalne** ryzyko wydobycia stwarzają deficyty bezpieczeństwa w zakresie **parametrów pożądaných**, dotyczących np. obudowy iskrobezpiecznej,
- jq_{11} — niekontrolowany proces mechanicznego urabiania iskrzących zwięzłych skał, co może warunkować inicjację wybuchu metanu. **Nieakceptowalne** ryzyko wydobycia stwarzają deficyty bezpieczeństwa w zakresie **parametrów pożądaných**, dotyczących np. nakazanego zraszania,
- jq_{12} — niekontrolowany proces palenia tytoniu, w wyniku którego pojawia się płomień, który może zainicjować wybuch metanu.

Niekontrolowany proces palenia tytoniu jq_{12} będący przyczyną ukazania się płomienia implikuje warunek konieczny I_k :

$$jq_{12} \Rightarrow I_k \equiv \{ik\} \quad (11)$$

gdzie:

ik — niekontrolowana czynność palenia tytoniu przez załogę.

Niekontrolowaną czynność palenia tytoniu ik lub/i przebywanie załogi w zasięgu skutków wybuchu metanu ys implikuje warunek konieczny H_k :

$$ik \vee ys \Rightarrow H_k \equiv \{hq \wedge hs\} \quad (12)$$

gdzie:

hq — czynności załogi. **Umiarkowane** ryzyko wydobycia stwarza **negatywny wpływ załogi w zakresie podjętej decyzji**, dotyczącej np. zakazu palenia tytoniu lub/i zakazu przebywania w zasięgu możliwej aktywizacji zagrożenia wypadkowego,

hs — stan przestrzeni roboczej. **Nieakceptowalne** ryzyko wydobycia stwarza deficyt bezpieczeństwa w zakresie **parametrów pożądaných** przestrzeni roboczej, dotyczących np. zdalnego sterowania lub doboru stanowiska strażalowego, powodujących odsunięcie załogi poza zasięg aktywizacji zagrożenia wypadkowego.

Niekontrolowane procesy zachodzące w środowisku pracy $jq_{111} \vee jq_{a:g}$ mogące być przyczyną niepożądanego ukazania się koniecznego płomienia lub/i stężenia metanu w zakresie wybuchowym implikuje warunek konieczny G_k :

$$\begin{aligned} & jq_{a:g} \vee jq_{1:11} \Rightarrow \\ \Rightarrow G_k & \equiv \{(gq_{a:g} \vee gq_{1:11}) \wedge (gq_{z:a:g} \vee gq_{z:1:11}) \wedge (gq_{d:a:g} \vee gq_{d:1:11})\} \end{aligned} \quad (13)$$

gdzie:

$gq_{1:7,9:11}$, $gq_{a:g}$ — procesy zachodzące w środowisku pracy bezpośrednio poprzedzające ich niekontrolowany stan. **Nieakceptowalne** ryzyko wydobywania stwarzają deficyty bezpieczeństwa w zakresie **kontroli automatycznej**²¹, o ile została nakazana, np. nakazanej sejsmografii przy zagrożeniu tąpnięciami lub automatycznej CO-metrii przy zagrożeniu pożarowym,

gq_8 — koncentracja metanu w wyrobisku bezpośrednio poprzedzająca niekontrolowane stężenie metanu. **Nieakceptowalne** ryzyko wydobywania stwarza deficyt bezpieczeństwa dotyczący **metanometrii automatycznej**,

$gq_{z 1:7,9:11}$, $gq_{z a:g}$, $gq_{d 1:7,9:11}$, $gq_{d a:g}$ — wpływ załogi $gq_{z 1:7,9:11}$, $gq_{z a:g}$ i dozoru $gq_{d 1:7,9:11}$, $gq_{d a:g}$ na zachodzące procesy. **Umiarkowane** ryzyko wydobywania stwarza **negatywny wpływ załogi i dozoru w zakresie kontroli zachodzących procesów** np. w zakresie: ręcznej kontroli pomiarowej natężenia prądów błędzących podczas roboty strażalowej lub kontroli wzrokowej dotyczącej nagromadzenia materiałów łatwopalnych w pobliżu miejsca dokonywania roboty spawalniczej itd.,

$gq_{z 8}$, $gq_{d 8}$ — wpływ załogi $gq_{z 8}$ i dozoru $gq_{d 8}$ na koncentrację metanu dotyczy ręcznej kontroli pomiarowej stężenia metanu w strumieniu wentylacyjnym (Roszczynialski, Trutwin, Waclawik 1992) np. za pomocą metanomierza indywidualnego. **Umiarkowane** ryzyko wydobywania stwarza **negatywny wpływ załogi w zakresie ręcznej kontroli pomiarowej stężenia metanu**.

Koncentrację metanu w wyrobisku gq_8 implikuje warunek konieczny F_k :

$$gq_8 \Rightarrow F_k \equiv \{fg \wedge fs\} \quad (14)$$

gdzie:

fg — metanowość wentylacyjna, czyli strumień metanu emitowanego do wyrobisk (Kozłowski 2000; Krause, Łukowicz 2001). **Nieakceptowalne** ryzyko wydobywania stwarzają deficyty bezpieczeństwa np w zakresie **parametrów pożądaných** lub **nakazanej profilaktyki technicznej** dotyczących wentylacji (Pawiński, Roszkowski, Strzemiński 1995; Krause, Łukowicz 1999),

fs — występująca metanonośność, czyli zawartość metanu w skale węglowej, tj. ilość $m^3 CH_4$ w tonie czystej substancji węglowej (Kozłowski 2000; Krause, Łukowicz,

²¹ Kontrola automatyczna jest to system automatycznej zdalnej kontroli pomiarowej określonych mierzalnych parametrów środowiska pracy (Cichowski 1999).

Kobiela 2000). **Nieakceptowalne** ryzyko wydobycia stwarzają deficyty bezpieczeństwa w zakresie **nakazanej profilaktyki technicznej**, dotyczącej np. nakazanego odmetanowania (Kozłowski, Grębski 1982).

Procesy zachodzące w środowisku pracy $gq_{1:7,9:11} \vee gq_{a:g}$, metanowość wentylacyjną f_q lub/i stan przestrzeni roboczej hs implikuje warunek konieczny E_k :

$$gq_{1:7,9:11} \vee gq_{a:g} \vee f_q \vee hs \Rightarrow E_k \equiv \{eq \wedge eq_z \wedge eq_d\} \quad (15)$$

gdzie:

- eq — przebiegające roboty górnicze. **Istotne** ryzyko wydobycia stwarzają deficyty bezpieczeństwa dotyczące **wdrożenia profilaktyki technicznej** zorientowanej na utrzymanie nakazanych parametrów środowiska pracy,
- eq_z, eq_d — wpływ załogi i dozoru na roboty górnicze. **Umiarkowane** ryzyko wydobycia stwarza **negatywny wpływ załogi i dozoru w zakresie kontroli przebiegających robót górniczych**, zwłaszcza w zakresie przebiegu zgodnego z obowiązującymi przepisami BHP, instrukcjami, wytycznymi itd.

Roboty górnicze eq implikuje warunek konieczny D_k :

$$eq \Rightarrow D_k \equiv \{dq \wedge dq_k\} \quad (16)$$

gdzie:

- dq — ruch zakładu górniczego, stanowiący przyczynę koniecznego następstwa zdarzeń,
- dq_k — wpływ kierownictwa na ruch ZG. **Umiarkowane** ryzyko wydobycia stwarza **negatywny wpływ kierownictwa dotyczący wdrożenia profilaktyki technicznej zmierzającej do utrzymania nakazanych parametrów środowiska pracy i do kontroli ruchu** zakładu górniczego. Wpływ kierownictwa w zakresie wdrożenia profilaktyki technicznej i kontroli ruchu wyraża się przez opracowanie i zatwierdzenie stosownych instrukcji bezpiecznego wykonywania prac w warunkach zagrożenia metanowego i przez kontrolę ich realizacji.

Czynności załogi hq , wpływ załogi na zachodzące procesy $gq_{z:1:11} \vee gq_{z:a:g}$ lub/i na przebiegające roboty górnicze eq_z implikuje warunek konieczny C_k :

$$hq \vee gq_{z:1:11} \vee gq_{z:a:g} \vee eq_z \Rightarrow C_k \equiv \{cq \wedge cq_d\} \quad (17)$$

gdzie:

- cq — działanie załogi, stanowiące przyczynę koniecznego następstwa zdarzeń
- cq_d — wpływ dozoru na załogę. **Akceptowalne** ryzyko wydobycia stwarza **negatywny wpływ dozoru w zakresie kontroli i kształtowania osobowości załogi oraz podejmowanych decyzji**.

Wpływ dozoru: na załogę cq_d , na zachodzące procesy $gq_{d:a:g} \vee gq_{d:1:11}$ lub/i przebiegające roboty górnicze eq_d implikuje warunek konieczny B_k :

$$cq_d \vee gq_{d:a:g} \vee gq_{d:l:l} \vee eq_d \Rightarrow B_k \equiv \{bq \wedge bq_k\} \quad (18)$$

gdzie:

- bq — działanie dozoru, stanowiące przyczynę koniecznego następstwa zdarzeń,
 bq_k — wpływ kierownictwa na działanie dozoru. **Akceptowalne** ryzyko wydobycia stwarza **negatywny wpływ kierownictwa w zakresie kontroli i kształtowania osobowości dozoru oraz podejmowanych decyzji.**

Wpływ kierownictwa na działanie dozoru bq_k i na ruch zakładu górniczego dq_k implikuje warunek konieczny A_k :

$$bq_k \vee dq_k \Rightarrow A_k \equiv \{aq \wedge aq_w\} \quad (19)$$

gdzie:

- aq — działanie kierownictwa, stanowiące przyczynę koniecznego następstwa zdarzeń,
 aq_w — wpływ władz górniczych na działanie kierownictwa. **Akceptowalne** ryzyko wydobycia stwarza **negatywny wpływ władz górniczych w zakresie kontroli i kształtowania osobowości kierownictwa oraz podejmowanych decyzji.**

4. Zakończenie

W wyniku przeprowadzonej analizy retrospektywnej określono przyczynowość wypadków lub/i szkód materialnych, których jedną z przyczyn pośrednich był wybuch metanu. Zarówno z inicjacją, jak i ze skutkami wybuchu metanu mogą być skojarzone różne niepożądane zmiany parametrów środowiska pracy, takie jak pożar górniczy egzo- i endogeniczny, łąpanie, nagłe wdarcie wody, robota strzałowa przebiegająca niezgodnie z przepisami BHP, zaskrzenie w urządzeniu elektrycznym, utrata równowagi stabilnej przez różne obiekty środowiska pracy itd. Przyczynowość wypadkowa stanowi punkt wyjścia do oceny ryzyka wydobycia wynikającego z występującego zagrożenia względnego. Istotą zagrożenia względnego są wszystkie wyselekcjonowane przyczyny pośrednie, w tym również te skojarzone, warunkowane występującymi deficytami bezpieczeństwa w zakresie parametrów środowiska pracy, jak i czynnika ludzkiego. Analizując szczegółowo przyczynowość wypadków lub/i szkód materialnych wymieniono przykładowo deficyty bezpieczeństwa tak po stronie parametrów środowiska pracy, jak i po stronie wpływu czynnika ludzkiego, stwarzające warunki sprzyjające dla niepożądanego następstwa zdarzeń.

REFERENCES

- Bobrowski D., 1980: Probabilistyka w zastosowaniach technicznych. WNT, Warszawa.
 Bądzielwicz H. i in., 1981: Organizacja i taktyka w ratownictwie górniczym. Wyd. „Śląsk”, Katowice.

- Burghammer P., Scholl E.W., Wiemann W., 1993: Entwicklung und Untersuchung eines betrieblich anwendbaren Verfahren zur Inertisierung explosionsfähiger Kohlenstäube, insbesondere für den Übergangsbereich Streb/Strecke. DMT-Berichte aus Forschung und Entwicklung, Bochum.
- Cichowski E., 1993: Zagrożenie pyłowe w górnictwie węgla kamiennego — model celowej techniki bezpieczeństwa. ZN Politechniki Śląskiej. z. 211, Gliwice.
- Cichowski E., 1985: Modell der im Steinkohlenbergbau auftretenden Gefährdungen. Gluckauf-Forschungshefte Essen 1.
- Cichowski E., Armbruster L., 1996: Systematische Sicherheitstechnik im Steinkohlenbergbau — ein Modell. Gluckauf-Forschungshefte Essen 1.
- Cichowski E., 1999: Identyfikacja zagrożeń w górnictwie węgla kamiennego. Monografia 12, Wyd. Politechniki Śląskiej, Gliwice.
- Cichowski E., 2000: An Estimation of risk by respirable dust. Arch. of Min. Sc. 45, 4, 475–488, Kraków.
- Cichowski E., Faber M., 2002: Die im Steinkohlenbergbau auftretene Unfall-, Sachschäden- und Gesundheitsgefährdung. Gluckauf-Forschungshefte Essen 2.
- Cybulski W., 1973: Wybuchy pyłu węglowego i ich zwalczanie. Wyd. „Śląsk”, Katowice.
- Franke H., 1990: Zündung hybrider Gemische Kohlenstaub und Methan durch schwache Zündquellen. DMT Publik., Bochum.
- Karpiński J., 1978: Zależności przyczynowe w badaniach diachronicznych. Praksologia, Warszawa 4.
- Konopko W., 1996: Doświadczalne podstawy kwalifikowania wyrobisk górniczych w kopalniach węgla kamiennego do stopni zagrożenia tapaniami. Prace GIG nr 795, Katowice.
- Konopko W. i in., 1992–2002: Raporty o stanie zagrożeń naturalnych i technicznych w PW, ich ocena oraz kierunki ulepszania profilaktyki. Główny Instytut Górnictwa, Katowice.
- Konopko W., Kostyk T., Skórka J., 1979: Zabezpieczenie przed odpadającymi bryłami węgla z czoła ścian. Prace GIGu, seria dodatkowa, Katowice.
- Kozłowski B., 2000: Prognozowanie zagrożeń gazowych w kopalniach głębinowych. Wyd. Głównego Instytutu Górnictwa, Katowice.
- Kozłowski B., Myszor H., Sobala J., 1988: Wybuchy w kopalniach. Skrypty Uczelniane Politechniki Śl. nr 1362. Gliwice.
- Kozłowski B., Grębski Z., 1982: Odmetanowanie górotworu w kopalniach. Wyd. „Śląsk”. Katowice.
- Krause E., Łukowicz K., Kobiela Z., 2000: Zaliczanie wyrobisk (pomieszczeń) w polach metanowych do poszczególnych stopni niebezpieczeństwa wybuchu w zakładach górniczych wydobywających węgiel kamienny. Główny Instytut Górnictwa — Kopalnia Doświadczalna „Barbara”, Seria Instrukcje nr 9, Katowice.
- Krause E., Łukowicz K., Gruszka A., 2000: Zasady przewietrzania wyrobisk górniczych w warunkach zagrożenia metanowego wraz z doбором urządzeń wentylacyjnych dla jego zwalczania. Główny Instytut Górnictwa — Kopalnia Doświadczalna „Barbara”, Seria Instrukcje nr 8, Katowice.
- Krause E., Łukowicz K., 1999: Kryteria bezpiecznego drażenia wyrobisk korytarzowych w polach metanowych przy użyciu kombajnów z zastosowaniem wentylacji lutniowej z ssącym lutniociągiem pomocniczym wyposażonym w odpylacz. Główny Instytut Górnictwa. Seria Instrukcje nr 10, Katowice.
- Krause E., Łukowicz K., 2001: Dynamic prediction of absolute methane emissions to extraction panels. 29th International Conference of Safety in Mines Research Institutes, Szczyrk.
- Krzemień S., 1992: Teoretyczne podstawy określenia miar zagrożenia bezpieczeństwa w wyrobiskach górniczych. ZN Politechniki Śląskiej, Górnictwo z. 204, Gliwice.
- Lebecki K., 1993: Neutralizacja osiadłego pyłu węglowego jako zabezpieczenie przed przenoszeniem wybuchu. Prace naukowe Głównego Instytutu Górnictwa nr 784, Katowice.
- Muschick E., 1986: Vorschlag eines mathematischen Kompromisses für eine effektive Dimensionierung elektrischer Energieversorgungsanlagen. Materiały Międzynarodowego Sympozjum: Jakość zasilania układów sieciowych. Politechnika Śląska, Gliwice.
- Muszcwski J., 1970: Bezpieczeństwo konstrukcji budowlanych. Wyd. „Arkady”, Warszawa.
- Niczyporuk Z., 1997: Identyfikacja zagrożeń oraz szacowanie i redukowanie ryzyka w technologiach górniczych. Szkoła Eksploatacji Podziemnej 97. AGH, Kraków–Szczyrk.
- Nowakowska M., 1975: Teoria działania: Algebra celów i algebra sposobów. Prakseologia, Warszawa 1.
- Pasenkiewicz K., 1968: Logika ogólna. PWN, Warszawa.

- Pawiński J., Roszkowski J., Strzemiński J., 1995: Przewietrzanie kopalń. Śląskie Wyd. Techniczne, Katowice.
- Pelc J., Przetęcki M., Szaniawski K., 1957: Prawa nauki. PWN, Warszawa.
- Pszczołowski T., 1977: Celowość, skuteczność, efektywność. Prakseologia, Warszawa 3.
- Robichaud L., Boisvert M., Robert J., 1968: Grafy przepływu sygnału. PWN, Warszawa.
- Roszczyński W., Trutwin W., Wacławik J., 1992: Kopalniane pomiary wentylacyjne. Wyd. „Śląsk”, Katowice.
- Skiba R., 1985: Taschenbuch Arbeitssicherheit. Erich Schmidt Verlag, Bielefeld.
- Sobala J., Rosmus P., 1996: System zarządzania bezpieczeństwem pracy w zakładach górniczych. Główny Instytut Górnictwa, Katowice.
- Strumiński A., 1987: Zwalczanie pożarów podziemnych. Wyd. Ossolineum, Wrocław.
- Wiemann W., 1990: Explosionsverhalten von Grubenbrandgasen bei unterschiedlichen Temperaturen und Sauerstoffgehalten. DMT Publik 7, Bochum.
- Zacharzewski J., Rydlewski J., 1996: Wypadki przy pracy w polskich kopalniach węgla kamiennego w latach 1946 do 1995. Wyd. AGH, Kraków.

REVIEW BY: PROF. DR HAB. INŻ. WŁODZIMIERZ ROSZCZYŃSKI, KRAKÓW

Received: 19 January 2001