

Edward CICHOWSKI

ANALIZA ZAGROŻENIA A PROJEKT POPRAWY
WARUNKÓW BEZPIECZEŃSTWA

Streszczenie. Przedstawiono metodę poprawy warunków bezpieczeństwa w określonym zakładzie górniczym, bazując na gruntownej analizie zdarzeń poprzedzających rozpatrywany skutek, np. wypadek, zdarzenie wypadkowe lub aktywizację zagrożenia. Sporządzono graf rozwoju zagrożenia, wyselekcjonowano niezbędne linie obrony BHP i opracowano projekt poprawy warunków bezpieczeństwa.

1. WPROWADZENIE

W czasie procesu wydobywczego, podobnie jak i w innych dziedzinach przemysłu występuje określone zagrożenie dla załogi i ruchu zakładu górniczego. Świadczy o tym statystyka wypadkowa, przy czym część wypadków jest związana z awariami górniczymi lub technicznymi, które oprócz urazów powodują znaczne szkody materialne i stwarzają poważne zakłócenie ruchu zakładu górniczego.

Rozwój i opanowanie zagrożenia występującego w górniczym środowisku pracy, uwzględniając znaczną różnorodność występujących zagrożeń, może zostać opisany na jednolitym modelu [1,2,3], uwzględniającym zarówno możliwy szkodliwy wpływ na załogę, jak i na ruch zakładu górniczego, litosfery, technosfery i atmosfery oraz stosowane środki profilaktyczne w postaci linii obrony BHP.

Zgodnie z obowiązującymi przepisami, wydobywanie powinno się odbywać w bezpiecznym, bezzagroźniowym środowisku górniczym. Górnicze przepisy BHP stanowią odzwierciedlenie aktualnego stanu wiedzy górniczej, kształtowanej przez czołowe placówki naukowe górnictwa i doświadczenia wynikające z aktywizacji poszczególnych zagrożeń w przeszłości. Poznanie istoty wszystkich występujących zagrożeń umożliwia ustanowienie odpowiednich poziomów bezpieczeństwa w postaci parametrów pożądaných, formalnych progów zagrożenia, profilaktyki technicznej nakazanej dla danego zagrożenia, pożądaných lub błędnych decyzji czy kształtowania osobowości załogi, i nadanie im rangi przepisu BHP czy wytycznej.

Utrzymanie w warunkach ruchowych wymienionych poziomów bezpieczeństwa stanowi środek prowadzący do zapewnienia bezpiecznej i efektywnej działalności górniczej. Wszelkie niedociągnięcia w warunkach ruchowych w stosunku

do przyjętych poziomów bezpieczeństwa oznaczają występowanie w zakładzie górniczym deficytu bezpieczeństwa, określanego jako zagrożenie umowne.

Ze względu na bógó skomplikowany charakter wypadków, zdarzeń wypadkowych czy aktywizacji zagrożenia zaistniałych w zakładzie górniczym, wynikający z ich zależności od przeróżnych parametrów środowiska pracy i od niewymiernych własności natury ludzkiej celowe jest zbadanie rozwoju zagrożenia nim doszło do rozpatrywanych skutków. Można to osiągnąć analizując losowy łańcuch zdarzeń, który nieuchronnie doprowadził do rozpatrywanego skutku [4,5]. Określone w ten sposób zbiory zdarzeń warunkujące zaistniałe następstwo zdarzeń umożliwiają określenie wszystkich przyczyn, podjętych wcześniej decyzji, sprawców rozwoju zagrożenia, występujących deficytów bezpieczeństwa, funkcjonujących systemów informacyjnych, które poprzedziły wypadek, zagrożenie wypadkowe czy aktywizację zagrożenia.

Na podstawie przeprowadzonej analizy zdarzeń, na modelu rozwoju zagrożenia wypadkowego zostaje sporządzony graf rozwoju zagrożenia w rozpatrywanym środowisku pracy, określone linie obrony BHP, niezbędne dla usunięcia z łańcucha zdarzeń wszystkich przyczyn i okoliczności warunkujących takie, a nie inne następstwo zdarzeń oraz sporządzony projekt poprawy warunków bezpieczeństwa.

2. POJĘCIA PODSTAWOWE

2.1. Środowisko pracy

Środowisko pracy tworzą obiekty środowiska pracy oraz załoga powiązana organizacyjnie z tym środowiskiem w celu wytworzenia określonych wartości w procesie pracy. Wszystko, co odbywa się w środowisku pracy, może być traktowane jako zbiór zdarzeń statycznych, kinetycznych i quasi-statycznych.

2.2. Obiekty środowiska pracy

Obiekty tworzą czynnik materialny środowiska pracy, np. górotwór, środowisko powietrzne, maszyny i urządzenia itd. otaczający załogę w procesie pracy i charakteryzujący się określonymi parametrami.

2.3. Parametry środowiska pracy

Są to stany obiektów środowiska pracy, np. ciśnienie, naprężenie, szczelność, przepuszczalność, współczynnik tarcia, temperatura, stężenie zapylenia, stężenie gazów wybuchowych czy trujących, podporność, wytrzymałość, wymiary, szerokość przejść, napięcie elektryczne itd.

2.4. Zdarzenia statyczne

Tworzą parametry środowiska pracy lub obwilową pozycję albo inny stan, dotyczący członków załogi w środowisku zakładu górniczego, np. zmęczenie, zamroczenie alkoholowe lub przebywanie załogi w określonym miejscu, niezależnie od tego, jaka czynność jest w danym momencie wykonywana. Mogą stanowić uwarunkowania do zajścia nowego zdarzenia w środowisku pracy.

2.5. Zdarzenia kinetyczne

Do zdarzeń kinetycznych zaliczamy wszelkie zmiany parametrów środowiska pracy, np. wzrost naprężeń, odprężenie górotworu, zawał, wybuch, otwarty ogień, wzrost stężenia gazów trujących lub czynności załogi, np. poślizgnięcie się, uderzenie, upadek, dotyk, włączenie, wdarcie się do strefy wyłączonej w czasie prowadzonej roboty strzałkowej czy transportu na upadkowej. Mogą być przyczyną określonego skutku.

2.6. Zdarzenia quasi-statyczne

Część zdarzeń zachodzących w środowisku pracy nie może zostać bez zastrzeżeń zaliczona do żadnej z wymienionych grup zdarzeń, np. proces pracy składający się na ogół ze znacznej liczby powtarzających się zdarzeń kinetycznych (np. cykl eksploatacyjny: urabianie kombajnem, przesuw obudowy zmechanizowanej i przenośnika zgrzeblowego, ładowanie urobku) może być przyczyną wzrostu naprężeń lub odprężenia górotworu, zmęczenia materiału lub załogi, narastania stężenia zapylenia itp. Inny przykład zdarzenia quasi-statycznego - to pozostanie, na podstawie podjętej decyzji, w miejscu, które jest przejściowo przestrzenią wyłączoną, np. na czas prowadzonej roboty strzałkowej czy transportu na upadkowej. Wymienione zdarzenie stanowi nieraz przyczynę obecności załogi w miejscu, w którym może nastąpić aktywizacja zagrożenia. Są to zdarzenia niby ustalone lub pozornie statyczne. W pewnych okolicznościach wymienione zdarzenia wykazują własności zdarzeń kinetycznych, gdyż mogą być przyczyną określonego skutku w postaci nowego zdarzenia. W związku z tym, podczas prowadzonej analizy zagrożenia quasi-statyczne będą traktowane podobnie jak zdarzenia kinetyczne.

2.7. Zagrożenie

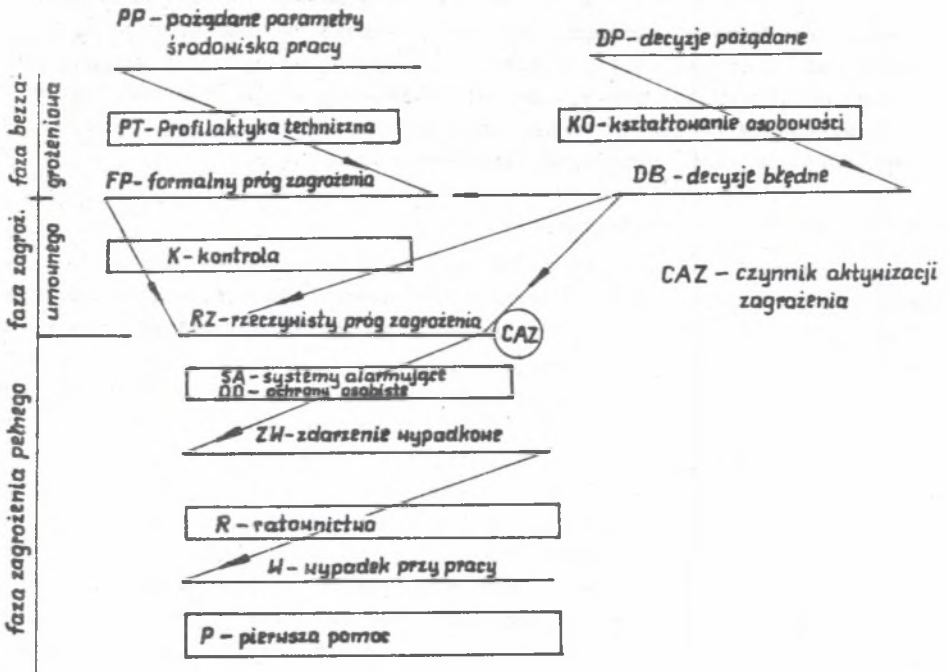
Stan w środowisku pracy, zarówno po stronie parametrów środowiska pracy, jak i po stronie czynnika ludzkiego, który w wyniku losowego następstwa zdarzeń może przyczynić się do powstawania urazów i szkód materialnych spowodowanych aktywizacją zagrożenia.

2.8. Uraz

Uszkodzenie anatomicznej budowy ciała ludzkiego lub naruszenie normalnego funkcjonowania jego organizmu.

2.9. Poziom bezpieczeństwa (rys. 1)

Stanowi on zdarzenie statyczne w środowisku pracy, czyli określony stan dotyczący obiektów i załogi, zapewniający zgodnie z obowiązującymi przepisami BHP, utrzymanie fazy bezzagrożeniowej. Wyróżniamy następujące przyjęte poziomy bezpieczeństwa: pożądane parametry środowiska pracy, formalne progi zagrożenia i niezbędną profilaktykę techniczną po stronie parametrów środowiska pracy oraz decyzje pożądane lub błędne i kształtowanie osobowości załogi po stronie czynnika ludzkiego.



Rys. 1. Model rozwoju zagrożenia wypadkowego w górniczym środowisku pracy
Fig. 1. Model of the accident hazard evolution in the labour environmental

2.10. Pożądane parametry środowiska pracy (PP)

Stan optymalny parametrów środowiska pracy w danych warunkach zapewniający osiągnięcie co najmniej minimum komfortu, przy pełnym bezpieczeństwie pracy, odpowiadającemu obecnemu rozeznaniu występujących zagrożeń, np. zgodny z przepisami stan maszyn, obudowy, innych urządzeń, wyrobisk itd.

2.11. Formalny próg zagrożenia (FP)

Ekstremalnie dopuszczalne parametry środowiska pracy, które w razie przekroczenia lub niedoboru w stosunku do obowiązujących przepisów wymagają natychmiastowego przeciwdziałania, np. osiągnięcia stężenia metanu $>Z_0$,

tlenku węgla $>0,002\%$ czy tlenu $<19\%$ wymaga między innymi wycofania załogi z zagrożonego wyrobiska.

2.12. Profilaktyka techniczna (PT)

Stanowi ona zastosowanie środków technicznych lub technologii wydobycia przepisanych przy występującej wielkości zagrożenia ze względu na możliwy ujemny wpływ środowiska pracy, np. przez stosowanie odpylaczy w chodnikach drażonych kombajnowo lub odprężające wybieranie pokładów nietąpiących czy pokładów o niższej metanonośności w celu wcześniejszego odgazowania pokładów pode- czy nadebranych.

2.13. Decyzje pożądane (DP)

Są to decyzje umożliwiające na szczeblu członka załogi zakładu górniczego późniejsze czynności zgodne z obowiązującymi przepisami BHP, rozsądkiem czy prawami fizyki, a na wyższych szczeblach kompetencji działalność opartą na szczytowych osiągnięciach nauki górniczej i myśli inżynierskiej.

2.14. Decyzje błędne (DB)

Są to decyzje błędne z punktu widzenia obowiązujących przepisów BHP, mogące nieraz stanowić trudny wybór mniejszego zła w trudnej sytuacji awaryjnej.

2.15. Kształtowanie osobowości (KO)

Kształtowanie osobowości fizycznej, umysłowej i psychicznej członków załogi odbywa się przez prowadzone szkolenie, treningi i systemy informacyjne.

2.16. Zagrożenie umowne

Stan w środowisku pracy spowodowany występującym deficytem bezpieczeństwa bez chwilowej możliwości szkody.

2.17. Deficyt bezpieczeństwa - parametry środowiska pracy (Z)

- odchylenie od pożądanych parametrów środowiska pracy lub gdy przepisy przewidują inaczej,
- nie dotrzymane formalne progi zagrożenia lub gdy przepisy przewidują jeszcze inaczej,
- nie stosowana lub niewłaściwie stosowana przepisana profilaktyka techniczna.

2.18. Deficyt bezpieczeństwa - człowiek (D,S)

Deficyt bezpieczeństwa ze strony ludzkiej wynika z podjętej decyzji (D), która jest DB lub odbiega od DP, a wyraża się przez sprawstwo (S) wskutek:

- czynności, postępowania, pozostawanie w określonym miejscu, które jest niezgodne z obowiązującymi przepisami lub zaniechania nakazanych czynności czy postępowania,
- zaniedbań w zakresie nakazanego kształtowania osobowości załogi przez szkolenie, treningi czy systemy informacyjne.

2.19. Rzeczywisty próg zagrożenia (RZ)

Górną granicę zagrożenia umownego określa rzeczywisty próg zagorzenia. Stanowią go parametry środowiska pracy, które pod wpływem czynnika aktywizacji zagrożenia umożliwiają jego aktywizację, np. stan równowagi w górotworze pomiędzy naprężeniami a jego wytrzymałością, stężenie metanu w strumieniu wentylacyjnym w zakresie wybuchowości metanu, śliski spąg, kanciaste przedmioty; przewód jezdny podziemnej trakcji elektrycznej, znajdujący się pod napięciem, mimo że przedstawia parametry pożądane, zgodne z obowiązującymi przepisami BHP, w razie niedozwolonego dotknięcia stanowi rzeczywisty próg zagrożenia, gdyż umożliwia aktywizację zagrożenia.

2.20. Kontrola (K)

Kontrola wzrokowa lub pomiarowa zdarzeń kinetycznych, quasi-statycznych i statycznych (parametrów środowiska pracy, ich zmian, prowadzonego wydobywania czy zachowania załogi) zachodzących w środowisku pracy może uświadomić fakt występowania określonego deficytu bezpieczeństwa, czyli fazy zagrożenia umownego i przez podjęcie odpowiednich kroków profilaktycznych uniemożliwić osiągnięcie rzeczywistego progu zagrożenia.

2.21. Zagrożenie pełne (wyzwolone), czyli aktywizacja zagrożenia

Stan w środowisku pracy spowodowany występującym deficytem bezpieczeństwa z chwilową możliwością szkody.

2.22. Czynniki aktywizacji zagrożenia (CAZ)

Zdarzenie kinetyczne lub quasi-statyczne (przyczyna), aktywizujące zagrożenie, np. proces wydobywczy, który burzy równowagę w górotworze pomiędzy naprężeniami a jego wytrzymałością, otwarty ogień, wentylacja, uszkodzenie, narastanie stężenia tlenu węgla w strumieniu wentylacyjnym lub czynności załogi: dotyk elementów maszyny znajdującej się w ruchu, uruchomienie, odpalenie ładunków wybuchowych, palenie tytoniu, poślizgnięcie się, potknięcie się, zderzenie, załączenie, uruchomienie lub utrata równowagi.

2.23. Sprawstwo (S)

Jeśli przyczyną nowego zdarzenia w środowisku pracy jest człowiek, to jest on sprawcą tego skutku.

2.24. Zdarzenie wypadkowe (ZW)

Nagle niespodziewane i nieplanowane zdarzenie kinetyczne, zachodzące w ciągu jednej zmiany, powodujące niebezpieczne zetknięcie załogi z obiektami środowiska pracy (wypadek lub prawie że wypadek).

2.25. Niebezpieczne zetknięcie załogi z obiektami środowiska pracy

Biorąc pod uwagę stosunkowo delikatną budowę ciała ludzkiego, każde zetknięcie się z obiektami środowiska pracy, które stwarza zagrożenie dla zdrowia lub życia, należy uważać za niebezpieczne, np. bezpośrednie mechaniczne zetknięcie się ze sztywnymi obiektami, z atmosferą o parametrach różniących się znacznie od normalnych, znalezienie się w zawale, przeskok łuku elektrycznego itd.

2.26. Ochrony osobiste (OO)

Osobisty sprzęt mający na celu uniknięcie lub zmniejszenie skutków niebezpiecznego zetknięcia z obiektami środowiska pracy, np. hełm, rękawice, okulary, sprzęt ochrony dróg oddechowych, nakolanniki itd.

2.27. Systemy alarmujące (SA)

Informują załogę w przypadku niektórych zagrożeń o występowaniu zagrożenia pełnego w zakładzie górniczym w celu umożliwienia efektywnego zastosowania ochron osobistych lub samoratownia, np. przy zagrożeniu pożarowym, wodnym, wyrzutowym.

2.28. Wypadek (W)

Zdarzenie wypadkowe, które spowodowało uraz u człowieka w wyniku wzajemnego oddziaływania na siebie obiektu i człowieka. Rodzaj i zakres doznanego urazu zależą od zbieżności nieprzychylnych uwarunkowań.

2.29. Zbieżność uwarunkowań (ZU)

Losowe uwarunkowania decydujące o zaistnieniu wypadku i jego ciężkości, w razie wystąpienia zdarzenia wypadkowego.

2.30. Pierwsza pomoc (P)

Udzielanie doraźnej pomocy medycznej na miejscu wypadku w celu ograniczenia skutków doznanego urazu.

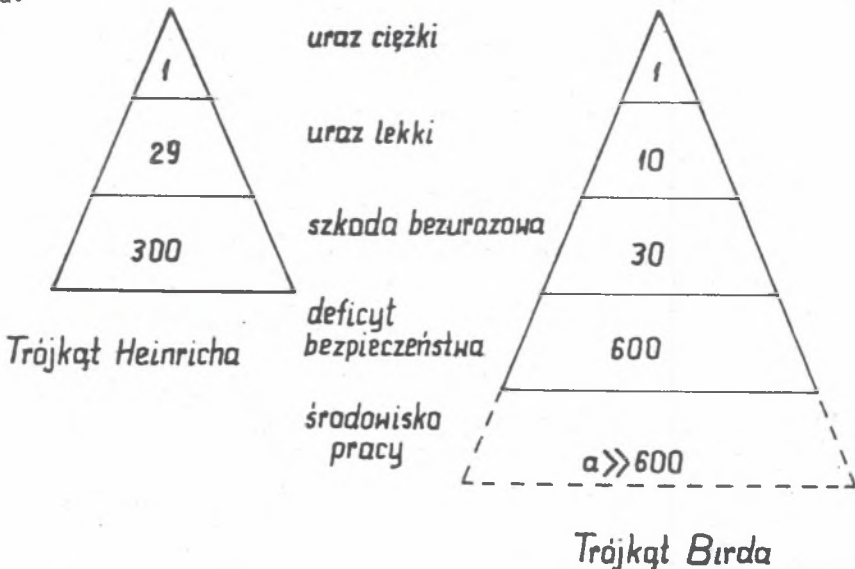
2.3. Ratownictwo (R)

Akcja ratunkowa organizowana w przypadku awarii górniczej lub poważniejszej awarii technicznej.

3. OKREŚLENIE ŁAŃCUCHA ZDARZEŃ POPRZEDZAJĄCYCH ROZPATRYWANY SKUTEK

Środowisko pracy można traktować jako zbiór zachodzących zdarzeń. Każde zdarzenie jest skutkiem jakiejś przyczyny. Występowanie przyczyny jest warunkiem koniecznym do zajścia nowego zdarzenia w środowisku pracy. Jednak określona przyczyna może, zależnie od okoliczności, wywołać różne skutki. Na przykład przechodzenie załogi pomiędzy wagonami w celu skrócenia drogi nie zawsze kończy się wypadkiem; określenie prawdopodobieństwa takiego skutku jest utrudnione, głównie z powodu niezajomości liczby takich zdarzeń, aczkolwiek możliwe [4,5].

W niektórych przypadkach jest możliwe statyczne określenie prawdopodobieństwa niektórych skutków. Zgodnie z zasadą urazu ciężkiego Heinricha występuje określona proporcja pomiędzy liczbą zdarzeń zakończonych urazem ciężkim, lekkim i bezurazową szkodą (rys. 2) [8]. Do podobnych wniosków doszedł Frank Bird [6] badając około 90000 zdarzeń wypadkowych w dużym zakładzie przemysłowym. Rozszerzył on jednak zakres przeprowadzanych badań o przypadki, gdy w środowisku występuje określony deficyt bezpieczeństwa.



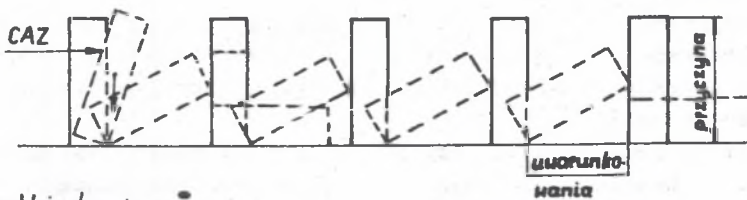
Rys. 2. Piramidy prawdopodobieństwa zdarzeń w środowisku pracy
Fig. 2. The probability pyramids of the event frequency rate in the labour environmental

Podstawę piramidy zdarzeń przedstawioną na rys. 2 tworzą wszystkie zdarzenia zachodzące w środowisku pracy (linia przerywana). Analizując rysunek można dojść do wniosku, że aby wystąpił uraz ciężki, statystycznie biorąc, pośród olbrzymiej liczby "a", zdarzeń zachodzących w środowisku pracy musi wystąpić kilka urazów lekkich, większa liczba szkód bezurazowych i znaczna liczba deficytów bezpieczeństwa.

Zgodnie z zasadą determinizmu: "Każde zdarzenie jest jednoznacznie i w sposób konieczny wyznaczone przez ogół warunków, w jakich zachodzi" [9], dla zajścia jakiegos nowego zdarzenia w środowisku pracy jest konieczne jednocześnie zajście zbioru zdarzeń, którego elementami są co najmniej jedno zdarzenie kinetyczne lub quasi-statyczne, które stanowi przyczynę oraz pewna liczba zdarzeń statycznych, które stanowią uwarunkowania lub okoliczności.

"Warunkiem wystarczającym dla zajścia określonego zdarzenia jest zbiór zdarzeń bez którego zajście nie mogłoby dojść do tego zdarzenia. Elementy tego zbioru stanowią składniki istotne warunku wystarczającego. W szczególnych przypadkach może wystąpić więcej niż jedno zdarzenie kinetyczne lub nie wystąpić ani jedno zdarzenie statyczne. Składniki istotne stanowią podzbiór zbioru zdarzeń stanowiących środowisko pracy. Czy dane zdarzenie jest składnikiem istotnym warunku wystarczającego, można sprawdzić analizując, czy bez tego zdarzenia mogłoby dojść do rozpatrywanego skutku" [4,5].

Aby doszło do jakiegos zdarzenia w środowisku pracy, musi wystąpić losowy łańcuch zdarzeń (sumowanie się zdarzeń, np. błędów, popełnionych uprzednio), którego ostatnim ogniwem jest analizowany skutek, np. wypadek. Model takiego łańcucha zdarzeń dobrze obrazują kostki domina ustawione obok siebie. Przewrócenie pierwszej z kostek powoduje kolejno przewrócenie wszystkich kostek, aż do ostatniej [7] (rys. 3). Wysokości poszczególnych kostek reprezentują przyczyny (zdarzenie kinetyczne), a odległości między nimi - występujące uwarunkowania (zdarzenia statyczne). Gdy warunek wystarczający do zajścia nowego zdarzenia w środowisku pracy nie jest spełniony (odległość między kostkami zbyt duża), nie może dojść do oczekiwanego skutku, gdyż łańcuch zdarzeń zostanie przerwany. Usunięcie jednej przyczyny z łańcucha zdarzeń również powoduje jego przerwanie.



Kostki domina

Rys. 3. Model losowego łańcucha zdarzeń zobrazony kostkami domina
Fig. 3. The probability event chain model illustrated through dominoes

Strzałka na rys. 3 ilustruje oddziaływanie czynnika aktywizacji zagrożenia. Gdy CAZ jest człowiek, jest on sprawcą uruchomienia łańcucha zdarzeń. Gdy CAZ stanowi środowisko pracy, może np. zachodzący proces wydobywczy spowodować zachwianie równowagi w górotworze pomiędzy naprężeniami a jego wytrzymałością, w wyniku czego następuje tapnięcie (przechylenie środka ciężkości kostki poza jej punkt oparcia) i uruchomienie całego łańcucha zdarzeń.

Analizowanymi zdarzeniami zachodzącymi w środowisku pracy są na ogół następujące skutki: wypadek (W), zdarzenie wypadkowe (ZW) lub występujące pełne zagrożenie w zakładzie górniczym (aktywizacja zagrożenia AZ). Wychoząc od analizowanego W, ZW lub AZ określamy zbiór zdarzeń stanowiący warunek wystarczający dla zajścia tego skutku, tzn. określamy wszystkie składniki istotne warunku wystarczającego w postaci zdarzenia kinetycznego, którego zajście stanowi warunek konieczny, zajścia nowego zdarzenia, jak i zdarzeń statycznych, których udział warunkuje taki, a nie inny skutek oraz określamy, które zdarzenia stanowią przyczyny P, sprawstwo S, wynikają z decyzji D, podjętych na podstawie informacji I lub stanowią występujący deficyt ze strony parametrów środowiska pracy Z.

Następnie w miarę potrzeby określamy warunki wystarczające dla zajścia poszczególnych składników istotnych warunku wystarczającego, wyznaczonych uprzednio itd., aż do odtworzenia całego łańcucha zdarzeń poprzedzających rozpatrywany skutek, inaczej mówiąc do odtworzenia całej sytuacji w środowisku pracy przed zaistniałym W, ZW czy AZ.

W niektórych przypadkach analizy rozwoju zagrożenia w środowisku pracy dochodzimy do miejsca, w którym musimy stwierdzić, że nie jesteśmy w stanie określić warunku wystarczającego do zajścia kolejnego zdarzenia. Na ogół zdarza się to, gdy przyczyną tego zdarzenia jest zdarzenie quasi-statyczne, np. przebiegający proces pracy, który jest przyczyną określonego skutku, przykładowo, wzrostu naprężeń w górotworze lub pozostawanie załogi w przestrzeni wyłączonej na czas prowadzonego transportu na upadkowej, co może być przyczyną obecności ludzi w tym wyrobisku w czasie aktywizacji zagrożenia.

W tych i podobnych przypadkach ograniczamy się wtedy do określenia samej przyczyny nowego zdarzenia i mówimy o spełnieniu warunku koniecznego do zajścia nowego zdarzenia w środowisku pracy.

Opisany przypadek na ogół zachodzi w końcowej fazie prowadzonej analizy, gdy stwierdzenie jedynie przyczyny skutku wystarcza do określenia sprawcy S i decydenta D, bez dochodzenia występujących okoliczności i uwarunkowań tego skutku.

W niektórych szczególnych przypadkach, gdy prowadzona jest szczegółowa analiza wnikająca w istotę przebiegającego procesu wydobywczego lub odbywają się badania psychologiczne odnośnie do motywacji do określonego postępowania załogi zachodzi potrzeba dokładniejszego określenia następstwa zdarzeń, wtedy nawet gdy występuje zdarzenie quasi-statyczne, zachodzi potrzeba określenia wszystkich składników istotnych warunku wystarczającego.

4. ANALIZA ZAGROŻENIA

W celu zilustrowania stosowanego zapisu zdarzeń zostanie przeprowadzona anonimowa analiza zdarzeń poprzedzających rozpatrywany skutek. Wychoząc od analizowanego skutku w postaci aktywizacji zagrożenia (AZ), zdarzenia wypadkowego (ZW), czy wypadku (W), określamy warunek wystarczający do zajścia tego zdarzenia.

Oznaczmy przez A zbiór zdarzeń, stanowiących warunek wystarczający do zajścia, np. ZW. Zbiór A może się składać z trzech elementów (wg [4, 5])

$$A(ZW) = \{ak_1; as_1; as_2\} \quad (1)$$

gdzie:

ak_1 - zdarzenie kinetyczne pierwsze. Jest to przyczyna bezpośrednia P_1 zaistniałego skutku. Jeśli wymienione zdarzenie wynika z czynności załogi, to występuje określone sprawstwo S_1 na podstawie decyzji D_1 podjętej na podstawie informacji I_1 dotyczącej np. wykonywanego procesu technologicznego,

as_1 - zdarzenie statyczne pierwsze oznacza prawidłowy stan dotyczący np. obiektów środowiska pracy. Wszelkie odchylenia w stosunku do przyjętych poziomów bezpieczeństwa stanowiłyby występujące deficyty bezpieczeństwa po stronie parametrów środowiska pracy ($Z_1, Z_2 \dots$),

as_2 - zdarzenie statyczne drugie, również warunkujące zajście skutku, np. ZW_1 może oznaczać stan dotyczący załogi, np. jej pozycji czy przebywania w określonym miejscu.

Na ogół zachodzi potrzeba dalszego analizowania sytuacji przed zaistnieniem skutkiem w celu określenia całego następstwa zdarzeń. W związku z tym należy określić składniki istotne warunku wystarczającego analizowanego ZW (rów. 1).

$$B(ak_1) = \{bk_1; bs_1; bs_2\} \dots \quad (2)$$

$$C(as_1) = \{ck_1; cs_1; cs_2\} \dots \quad (3)$$

$$D(as_2) = \{dk_1; ds_1; ds_2\} \dots \quad (4)$$

itd. Zdarzenia kinetyczne $bk_1, ck_1, dk_1 \dots$ są przyczynami pośrednimi I stopnia zajścia ZW. Warunek wystarczający zajścia zdarzenia bk_1 mógłby ZW wyglądać następująco:

$$E(bk_1) = \{ek_1; es_1; es_1\} \dots \quad (5)$$

Zdarzenie kinetyczne ek_1 jest przyczyną pośrednią II stopnia zajścia zdarzenia ZW.

W przypadku występowania zdarzenia quasi-statycznego równanie (5) stanowiłoby warunek konieczny i wyglądałoby następująco:

$$E(as_2) = \{eq_1\} \quad (5a)$$

gdzie e_{q1} oznacza zdarzenie quasi-statyczne, np. pozostanie pracownika w miejscu, gdzie ma się odbyć transport materiałów na upadkowej. Zdarzenie quasi-statyczne eq_1 stanowi przyczynę P_2 zdarzenia as_2 , a pracownik jest sprawcą S_2 na podstawie decyzji D_2 opartej na uzyskanej informacji I_2 .

Na podstawie wyznaczonego następstwa zdarzeń, które doprowadziło do analizowanego ZW zostają określone wszystkie przyczyny P, stopnie pośredniości, podjęte decyzje D, wyznaczeni sprawcy S, określone deficyty bezpieczeństwa Z i sprawdzony istniejący system informacyjny I.

Następnie należy sporządzić graf rozwoju zagrożenia w analizowanym środowisku pracy, uaktualniając model zagrożenia (rys. 1) i nanosząc na nim wyznaczone warunki wystarczające, konieczne, P, S, D, Z i I. Pozwoli to na dokładne prześledzenie rozwoju zagrożenia w rozpatrywanym środowisku pracy i na trafną ocenę wszystkich czynników decydujących o występowaniu zagrożeniu.

Graf rozwoju zagrożenia stanowi podstawę do określenia niezbędnych linii obrony BHP i na tej podstawie opracowania projektu poprawy warunków bezpieczeństwa w tym zakładzie górniczym, obejmującym wszystkie fazy rozwoju zagrożenia, począwszy od fazy bezzagrożeniowej, poprzez fazę zagrożenia umownego do zagrożenia pełnego.

5. PROSTY PRZYKŁAD PLANOWEJ TECHNIKI BEZPIECZEŃSTWA PRACY W OKREŚLONYM ZAKŁADZIE GÓRNICZYM

Praca odbywa się przy ręcznym załadunku urobku do wozu, znajdującego się pod przewodem jezdnym trakcji elektrycznej. W czasie pracy następuje przypadkowy dotyk przewodu jezdny trakcji elektrycznej, w wyniku którego doszło do przepływu prądu rażeniowego przez ciało poszkodowanego i jego porażenia.

Należy zastosować planową technikę bezpieczeństwa pracy wobec zagrożenia występującego w tym środowisku pracy, w którym nastąpił opisany wypadek przez analizę zagrożenia, sporządzenie grafu rozwoju zagrożenia, określenie niezbędnych linii obrony BHP i opracowanie projektu poprawy warunków bezpieczeństwa pracy.

Zbiór zdarzeń poprzedzających wypadek (W) - porażenie prądowe - warunek wystarczający

$$A(W) = \{ak_1; as_1\}$$

gdzie:

ak_1 - zdarzenie wypadkowe (kinetyczne) - przepływ prądu rażeniowego przez organizm poszkodowanego, w wyniku którego nastąpiło porażenie elektryczne. Była to przyczyna bezpośrednią P_1 doznanego urazu, sprawcy nie ma. Przyczyną aktywizacji zagrożenia były parametry środowiska pracy,

as_1 - zdarzenie statyczne warunkujące wielkość i zakres doznanego urazu, określane ogólnie jako zbieżność uwarunkowań zależało od zbieżności takich czynników, jak wilgotność i grubość naskórka w miejscu dotyku, miejsca przepływu prądu przez organizm (ręka-ręka, ręka-noga), natężenie prądu, jego napięcie, prąd stały czy zmienny itd. - nie podlega analizie w rozpatrywanym przypadku.

Warunek wystarczający do aktywizacji zagrożenia AZ, która przy opisanym wypadku przebiega niemal równocześnie z ZW, stanowi zbiór zdarzeń B:

$$B(ak_1) = \{bk_1; bs_1\}$$

gdzie:

bk_1 - przypadkowy dotyk przewodu jezdnego był przyczyną pośrednią P_2 wypadku, sprawcą S_1 był sam poszkodowany,

bs_1 - goły przewód jezdny, znajdujący się pod napięciem 250 V prądu stałego, podczas wykonywania pracy w jego pobliżu - deficyt bezpieczeństwa Z_1 ; parametry pożądane stanowi stan przy wyłączonym napięciu.

Warunkiem koniecznym dla zajścia zdarzenia bk_1 jest zdarzenie quasi-statyczne oq_1

$$C(bk_1) = \{oq_1\}$$

gdzie:

oq_1 - zdarzenie quasi-statyczne - ładowanie wozu w pobliżu przewodu jezdnego znajdującego się pod napięciem elektrycznym stanowi przyczynę pośrednią P_3 , sprawcą S_2 jest osoba dozoru, która poleciła lub dopuściła do ładowania w tych warunkach albo sam poszkodowany, ktoś kto podjął decyzję D_1 .

Warunkiem koniecznym do zajścia zdarzenia bs_1 jest również zdarzenie quasi-statyczne dq_1 :

$$D(bs_1) = \{dq_1\}$$

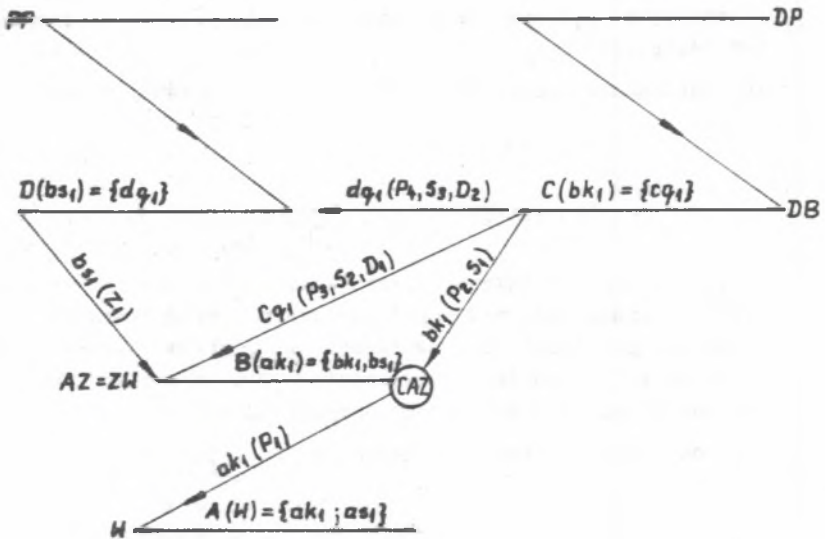
gdzie:

dq_1 - zdarzenie quasi-statyczne - niezgodne z obowiązującymi przepisami BHP prowadzenie prac w pobliżu przewodu jezdnego przewozu lokomotywowego stanowi przyczynę P_4 w wyniku decyzji osoby dozoru D_2 , która jest też sprawcą S_3 .

Na tym można by zakończyć analizę zagrożenia: w innych przypadkach łańcuch zdarzeń doprowadzający do analizowanego skutku może być znacznie dłuższy, a liczba przyczyn, sprawców podjętych decyzji, występujących deficytów bezpieczeństwa pokazniejsza.

Na rys. 4 przedstawiono model zagrożenia wypadkowego, na który naniesiono graf zagrożenia występującego w analizowanym środowisku pracy. Na rys. 4 naniesiono zbiory zdarzeń stanowiące warunki wystarczające lub konieczne do rozpatrywanego następstwa zdarzeń, które doprowadziło do wypadku, wszystkie zdarzenia, stanowiące przyczyny i deficyty bezpieczeństwa oraz podjęte decyzje, sprawców i istniejące systemy informacyjne.

W wyniku podjętej błędnej decyzji D_1 nastąpiło ręczne ładowanie urobku do wozu cq_1 w pobliżu przewodu jezdnego trakcji elektrycznej znajdującego się pod napięciem elektrycznym. Była to przyczyna P_3 późniejszego sprawstwa S_1 . Prowadzenie prac górniczych przy zaniedbaniu podstawowych zasad bezpieczeństwa pracy (deficyt bezpieczeństwa Z_1) wskutek podjęcia błędnej decyzji D_2 przyczyniło się (P_4) do sprawstwa S_3 .



Rys. 4. Graf rozwoju zagrożenia w rozpatrywanym zakładzie górniczym
Fig. 4. Graph of the accident hazard evolution in the examined colliery

Dotyk przewodu jezdnego, zdarzenie kinetyczne bk_1 nastąpił w wyniku zdarzenia quasi-statycznego, które stanowiło warunek konieczny dla tego skutku. Analizowanie warunku wystarczającego jest już zbędne, gdyż cel przeprowadzonej analizy został osiągnięty po określeniu wszystkich warunków następstwa zdarzeń.

W momencie dotyku skończyła się faza zagrożenia umownego, a zaczęła faza zagrożenia pełnego, tzn. przepływ prądu rażeniowego przez ciało poszkodowanego. Sprawcą AZ był człowiek, który przez dotyk zaktywizował zagrożenie, jednak ZW nastąpiło wskutek przepływu prądu rażeniowego przez ciało poszkodowanego. Mimo pozornej jednoczesności AZ i ZW można, stosując ochrony osobiste, wymienione zdarzenia rozdzielić. Prześledźmy jeszcze raz następstwo zdarzeń, który doprowadziło do wypadku w analizowanym środowisku pracy i rozważmy możliwe środki profilaktyczne, które mogłyby zneutralizować występujące zagrożenie przez usuwanie z losowego łańcucha zdarzeń wszystkich P, S, D, Z, które przyczyniły się do analizowanego skutku.

Najbardziej efektywnym sposobem zwalczania każdego zagrożenia, a więc najbardziej uzasadnione jest stosowanie środków profilaktycznych jak najwcześniej w stosunku do momentu jego powstania.

Na analizowany wypadek złożyły się 4 przyczyny:

- P_1 - bezpośrednia wskutek przepływu prądu rażeniowego przez ciało poszkodowanego,
- P_2 - pośrednia I stopnia wskutek dotyku przewodu trakcji elektrycznej, znajdującego się pod napięciem 250 V prądu stałego,
- P_3 - pośrednia II stopnia wskutek ładowania w pobliżu przewodu jezdnego znajdującego się pod napięciem,
- P_4 - pośrednia II stopnia wskutek niewłaściwego kierowania robotami górnymi.

Trzy z wyznaczonych przyczyn wynikały z podjętych dwóch błędnych decyzji:

- D_1 - poszkodowanego lub dozoru dotyczącej ładowania urobku do wozu w pobliżu przewodu jezdnego znajdującego się pod napięciem,
- D_2 - dozoru prowadzącego prace górnicze przy zaniedbaniu podstawowych zasad bezpieczeństwa.

Było trzech sprawców tego wypadku:

- S_1 - poszkodowany, który przez nieumyślny dotyk spowodował przepływ prądu rażeniowego,
- S_2 - poszkodowany lub osoba dozoru, która podjęła decyzję o prowadzeniu prac w pobliżu przewodu znajdującego się pod napięciem,
- S_3 - osoba dozoru, prowadząca prace w warunkach występującego deficytu bezpieczeństwa.

Występował jeden deficyt po stronie parametrów środowiska pracy:

Z_1 - przewód jezdny trakcji elektrycznej znajdował się pod napięciem podczas wykonywania zakładunku w jego bezpośrednim sąsiedztwie.

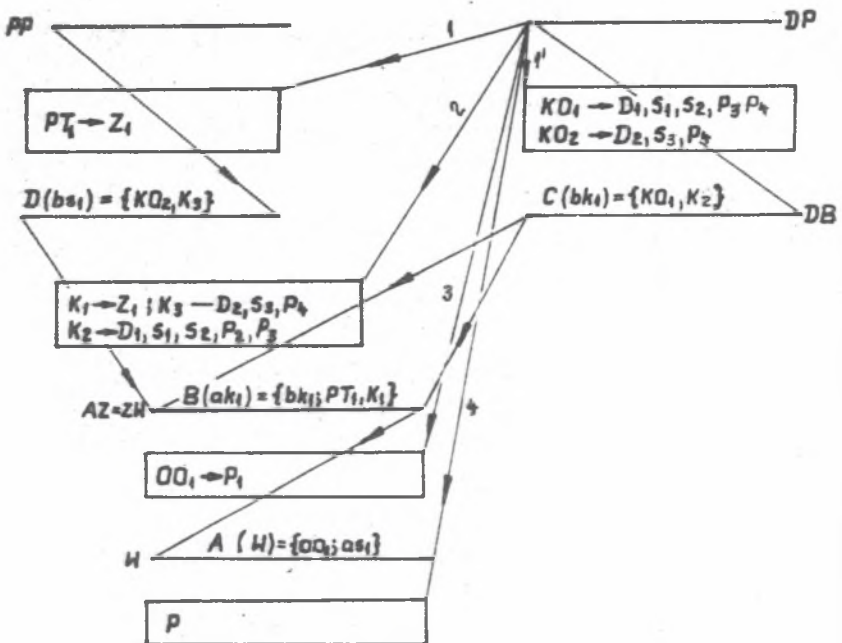
Poniżej przedstawiono jeszcze raz warunki wystarczające i konieczne, które spowodowały analizowane następstwo zdarzeń w celu usunięcia z łańcucha zdarzeń wyszczególnionych przyczyn i uwarunkowań przez zastosowanie odpowiednich linii obrony BHP. Zastosowanie linii obrony BHP stanowi postępowanie pożądane (linie 1,1',2,3,4 na rys. 5)

$$A(W) = \{ak_1; as_1\} = \{00_1; as_1\} \rightarrow P_1$$

$$B(ak_1) = \{bk_1; bs_1\} = \{bk_1; PT_1; K_1\} \rightarrow Z_1$$

$$C(bk_1) = \{cq_1\} = \{KO_1, K_2\} \rightarrow D_1, S_1, S_2, P_2, P_3$$

$$D(bs_1) = \{dq_1\} = \{KO_2, K_3\} \rightarrow D_2, S_3, P_4$$



Rys. 5. Wyselekcjonowane linie obrony BHP

Fig. 5. Selected safety defense lines

W ten sposób z łańcucha zdarzeń zostały usunięte wszystkie przyczyny i uwarunkowania, które doprowadziły do analizowanego wypadku (rys. 5).

Na rys. 6 przedstawiono projekt poprawy warunków bezpieczeństwa w rozpatrywanym zakładzie górniczym. W celu uzyskania fazy bezzagrożeniowej po stronie parametrów środowiska pracy, najważniejsze postępowanie polega na usunięciu występującego deficytu bezpieczeństwa przez zastosowanie bezpieczniejszej techniki czy technologii. Zaproponowano to w zastosowanej PT_1 . W ten sposób usunięto Z_1 i P_1 .

Występujące Z_1 zależało w analizowanym wypadku nie od stanu technicznego urządzenia, lecz od jego stanu pracy (włączone-wyłączone), czyli bezpośrednio od czynnika ludzkiego, od podjętych decyzji D_1 i D_2 , z których wynikało S_1 , S_2 i S_3 .

Przez prowadzone szkolenie zawodowe i w zakresie BHP, stosowane systemy informacyjne w zakładzie górniczym oraz środki organizacyjne można wpłynąć na motywację wśród załogi do bezpiecznej pracy. Kształtowanie osobowości KO_1 i KO_2 rozdzielono, gdyż dotyczy różnych grup pracowników, podlegających innym cyklom szkolenia.

System kontrolny w zakładzie górniczym, prowadzony zgodnie z obowiązującymi przepisami, powinien sposobdować wykrycie zarówno deficytu bezpieczeństwa występującego w środowisku pracy Z_1 , jak i deficytu po stronie czynnika ludzkiego D_1 , D_2 , S_1 , S_2 , S_3 oraz usunąć przyczyny P_2 , P_3 , P_4 .

Właściwie dobrane ochrony osobiste mogłyby usunąć przyczynę P_1 z łańcucha zdarzeń, który doprowadził do analizowanego wypadku.

Uzupełnieniem projektu poprawy warunków bezpieczeństwa w każdym wypadku powinno być określenie osób odpowiedzialnych za wprowadzenie poszczególnych linii obrony BHP i terminy realizacji.

6. PODSUMOWANIE

Planowa technika bezpieczeństwa pracy w istniejącym zakładzie górniczym powinna obejmować:

- analizę losowego łańcucha zdarzeń, który doprowadził do rozpatrywanego skutku w postaci wypadku, zdarzenia wypadkowego czy aktywizacji zagrożenia w celu określenia wszystkich przyczyn, sprawców, podjętych decyzji, istniejących systemów informacyjnych i występujących deficytów po stronie parametrów środowiska pracy,
- graf rozwoju zagrożenia w danym zakładzie górniczym sporządzony na podstawie przeprowadzonej analizy, na bazie modelu rozwoju zagrożenia wypadkowego,

PP – wyłączenie napięcia na odcinku wykonywania prac w pobliżu przewodu jeźdnego trakcji elektrycznej

DP – wyłączenie przewodu jeźdnego trakcji elektrycznej spod napięcia na czas wykonywania prac.

PT₁ – Stopniowe zastępowanie niebezpiecznego transportu za pomocą lokomotywy elektrycznej zasilanej przez goły przewód szlaczony napędem dieslowskim lub akumulatorowym względnie zastosowanie przenośników taśmowych lub zabezpieczenie przewodu jeźdnego na niektórych jego odcinkach.

KO₁ – Szkolenie załogi i dozoru w zakresie bezpiecznego wykonywania prac w pobliżu urządzeń elektrycznych, a zwłaszcza przewodu jeźdnego trakcji elektrycznej.
KO₂ – Zmiany organizacyjne uniemożliwiające takie metody pracy. Systemy informujące o zagrożeniu.

FP

K₁, K₂, K₃ – Systematyczne kontrolowanie przez dozór bezpiecznego prowadzenia wszelkich prac odbywających się w pobliżu przewodu jeźdnego trakcji elektrycznej.

OB

RZ

OO₁ – Stosowanie obuwia, rękawic czy innych ochron wykazujących własności izolujące może znacznie osłabić skutki przepływu prądu rażeniowego przez organizm ludzki.

ZM

H

P₁ – Wypadki związane z dotykiem przewodu jeźdnego trakcji elektrycznej są na ogół śmiertelne. Przy prądzie stałym następuje odrzucenie rażonego. Przy utracie przytomności – sztuczne oddychanie. Zanik akcji serca – masaż serca.

Rys. 6. Projekt poprawy bezpieczeństwa w rozpatrywanym zakładzie górniczym

Fig. 6. Safety improvement project in the examined colliery

- dobór odpowiednich linii obrony BHP w celu wyeliminowania wszystkich określonych uprzednio przyczyn, sprawców, decyzji i deficytów bezpieczeństwa,
- opracowanie szczegółowego projektu poprawy bezpieczeństwa w danym zakładzie górnictwa, obejmującym wszystkie linie obrony BHP.

LITERATURA

- [1] Cichowski E.: Rozwój i zwalczanie zagrożenia wypadkowego w górnictwie środowisku pracy. "Bezpieczeństwo pracy w górnictwie". 1984, nr 4
- [2] Cichowski E.: Modell der im Steinkohlenbergbau auftretenden Gefährdungen. "Glückauf-Forschungshefte" Essen, 1985, nr 1.
- [3] Cichowski E.: Modell der im polnischen Steinkohlenbergbau auftretenden Unfallgefährdungen und der Sicherheitsmassnahmen. Bergbau 1989, nr 11.
- [4] Cichowski E.: Szczurowski A.: Seminarium z bezpieczeństwa i higieny pracy w górnictwie. Skrypt Uczelniany 1230, Gliwice 1985.
- [5] Szczurowski A.: Metoda badania wypadków. ZN Politechniki Śląskiej, s. Górnictwo, Gliwice 1983, nr 118.
- [6] Bird.F.E., Gerein J.G.: "Demage Control" New York. 1966 r.
- [7] Skiba R.: Taschenbuch Arbeitssicherheit. Bielefeld 1985.
- [8] Heinrich H.W.: Industrial accident prevention - a scientific approach. Mc Graw-Hill, New York 1959.
- [9] Słownik wyrazów obcych. PWN, Warszawa 1971.

АНАЛИЗ ОПАСНОСТИ А ПРОЕКТ ИСПРАВЛЕНИЯ
УСЛОВИИ БЕЗОПАСНОСТИ

Резюме

Представлен метод улучшения условий безопасности в определенном горном предприятии. Основываясь на основательном анализе событий предшествующих рассматриваемое происшествие, например: несчастный случай, катастрофа или активизация угрозы, подготавливается граф случайности развития угрозы в том горном предприятии, а затем выбирается необходимая линия обороны техники безопасности и разрабатывается план улучшения условий безопасности.

DANGER ANALYSIS AND THE SAFETY IMPROVEMENT PROJECT

S u m m a r y

A method for improving the work safety conditions in a definite mining establishment has been presented. Basing on a thorough analysis of events preceding the examined effect, eg. an accident, an event resulting in an accident or the activation of hazardous phenomena, a graph of the stochastic development of such hazards in this mining works will be drawn, followed by the selection of the indispensable lines of work safety defence and the elaboration of a plan for the improvement of work safety conditions.

Recenzent: Doc.dr inż. Karol Reich