ZESZYTY NAUKOWE POLITECHNIKI ŚLĄSKIEJ 2000
Seria: GÓRNICTWO z. 246 Nr kol.1480

Kazimierz WANAT
Politechnika Śląska, Gliwice
Józef KABIESZ
Główny Instytut Górnictwa, Katowice

MODEL ZAGROŻEŃ SKOJARZONYCH

Streszczenie. Praca zawiera opis zasad tworzenia modeli zagrożeń skojarzonych z wykorzystaniem pojęć rozmytych odpowiadających zbiorom rozmytym i stowarzyszoną z nimi logikę rozmytą. Zostały wprowadzone tylko te pojęcia i metody, których wymagał opracowany, numeryczny program analizy stanu zagrożeń skojarzonych. Omówiono metodykę wnioskowania rozmytego i jej zastosowanie do oceny i optymalizacji stanu zagrożeń.

MODEL OF TOTAL HAZARD ON MINE

Summary. Presented paper contain a description of total hazard on mine included rock-burst, coal fire, dust, water and methane blast hazard. The fuzzy sets theory and fuzzy logic have been used to the goal of computer artificial human feeling of a hazard. The method of artificial finking and safety optimal mine works design have been presented.

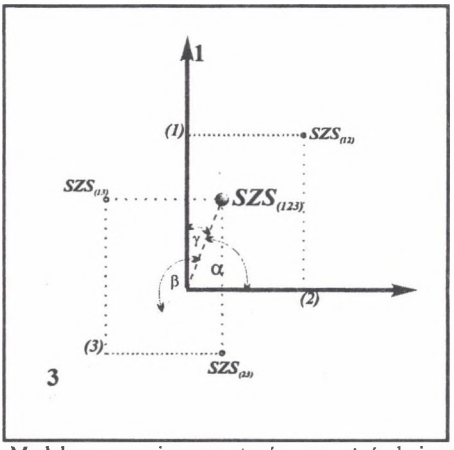
Wprowadzenie

Istniejące w kopalniach jednocześnie i w jednym miejscu zagrożenia naturalne mogą wzajemnie na siebie wpływać zmieniając formy swojego występowania. Zjawiska takie były i są powszechnie obserwowane, szczególnie w trakcie występowania nagłych, niekontrolowanych i niestabilnych stanów tych zagrożeń [1] i są nazywane **zagrożeniami skojarzonymi**.

Zagrożenia skojarzone są formą występowania zagrożeń naturalnych, które w praktyce górniczej posiadają rozwinięte i stosowane metodologie prognozowania i oceny ich stanów. Fizykalne istoty powstawania i przejawów występowania poszczególnych zagrożeń

naturalnych są odmienne, dlatego też metody te muszą być i są dostosowane do istniejącej w tym zakresie różnorodności. Wykorzystują one różne parametry fizykochemiczne oraz określone umowne wskaźniki charakteryzujące dane zagrożenia.

Istotą zagrożeń skojarzonych są wzajemne między nimi oddziaływania powodujące powstawanie nowych, normalnie nie występujących i nieprzewidywalnych klasycznymi metodami stanów zagrożenia. Stan zagrożeń skojarzonych nie jest prostą sumą stanów zagrożeń składowych, czy np. ewentualnie maksimum z ich stanów. Jest to zależność niewątpliwie bardziej złożona; dotychczas w indywidualnych przypadkach rozwiązywana na drodze analiz eksperckich. Stworzenie metody kompleksowej oceny stanu takich zagrożeń wymaga budowy odpowiedniego ich modelu, który ze względu na różnorodność tworzących to zjawisko zagrożeń musi się opierać na charakteryzujących je umownych wartościach.



Rys.1. Model sumowania ocen stanów zagrożeń skojarzonych w przestrzeni zagrożeń
Fig.1. Sum of total hazard in the space of hazards

1. Interpretacja pojęcia zagrożeń skojarzonych

Porównywanie (sumowanie) stanów zupełnie odmiennych zagrożeń oraz skutków wzajemnych między nimi oddziaływań wymaga stworzenia środowiska i narzędzi umożliwiających dokonywanie takich operacji. Środowiskiem takim mogą być jedynie umowne, bezwymiarowe wartości, których zbiór dla potrzeb przedmiotowego problemu nazwano „przestrzenią zagrożeń" [2] – rysunek 1.

Ponieważ istotą zagrożeń skojarzonych są wzajemne między nimi oddziaływania, fakt ten musi znaleźć swoje odzwierciedlenie w tworzonym modelu. Należy więc przed dokonaniem operacji sumowania stanów tych zagrożeń dokonać ich korekty o przyjęte charakterystyki oddziaływań.

W ogólnej formie stan zagrożeń skojarzonych (SZS) można wyrazić następującą formułą:

$$SZS = \sqrt[2]{\sum_{i=1}^{i=n} (SZ_i)^2} \tag{1}$$

gdzie:

SZS - stan zagrożeń skojarzonych,

SZ_i - umowne, skorygowane o wzajemne oddziaływania, wartości stanów składowych zagrożeń naturalnych,

i - rodzaj zagrożenia naturalnego.

Dokonywanie wszelkich logicznych operacji w „przestrzeni zagrożeń" wymaga transformacji wartości ocen stanów poszczególnych zagrożeń do wielkości umownych zawierających się w jednolitym dla wszystkich z nich przedziale. Przedział ten dla potrzeb praktycznych należy podzielić na podprzestrzenie odpowiadające poszczególnym kryterialnym stanom zagrożeń składowych. Taką samą operację należy przeprowadzić dla zagrożeń skojarzonych. Dla potrzeb niniejszej pracy przyjęto pięć stanów kryterialnych o granicach wyznaczonych przez maksymalne i minimalne wartości SZ_i.

Proponuje się dla zagrożeń składowych pięć stopni zagrożenia:

stan „a" - oznaczający brak zagrożenia, w którym wartości danego wskaźnika zagrożenia mieszczą się w przedziale $SZ_i \leq 0$,

stan „b" - oznaczający słabe zagrożenie, w którym wartości danego wskaźnika zagrożenia mieszczą się w przedziale $0 < SZ_i \leq 25$,

stan „c" - oznaczający średnie zagrożenie, w którym wartości danego wskaźnika zagrożenia mieszczą się w przedziale $25 < SZ_i \leq 50$,

stan „d" - oznaczający silne zagrożenie, w którym wartości danego wskaźnika zagrożenia mieszczą się w przedziale $50 < SZ_i \leq 100$,

stan „NB" - oznaczający występowanie warunków niebezpiecznych, w którym wartości danego wskaźnika zagrożenia mieszczą się w przedziale $SZ_i > 100$.

1.1. Transformacja wartości ocen stanów zagrożeń naturalnych

Wyniki ocen stanów poszczególnych zagrożeń naturalnych tworzących zjawisko zagrożeń skojarzonych podawane są w charakterystycznych dla każdego z nich odmiennych wielkościach. Również zróżnicowane są granice kryterialnych ich przedziałów, charakterystyczne dla każdego z zagrożeń. Istnieje więc potrzeba konwersji ocen tych zagrożeń i sprowadza się ona w przypadku ilościowego szacowania ich wartości do stosunkowo prostych przeliczeń. Wstępnie wymagane jest dostosowanie kryterialnych przedziałów tych wartości do prezentowanej wyżej pięciostopniowej skali. Dla przedziałów obustronnie domkniętych zależność pozwalająca na dokonanie takiej operacji posiada ogólną postać:

$$\mathrm{SZ_i} = \left[x + \left(DG_{SZ_i} - DG \pm 0{,}001\right)\right] + \left(x - DG\right) \cdot \frac{\left(GG_{SZ_i} - DG_{SZ_i}\right) - \left(GG - DG\right)}{GG - DG} \tag{2}$$

gdzie:

SZ_i - Umowna wartość oceny stanu zagrożenia składowego (pyłowego, tąpaniami, pożarowego, metanowego, wodnego) przeliczona do ujednoliconej 100 - punktowej skali,

DG_{SZ_i} - Graniczna dolna kryterialna wartość przedziału danego stopnia zagrożenia składowego według ujednoliconej jego skali,

GG_{SZ_i} - Graniczna górna kryterialna wartość przedziału danego stopnia zagrożenia składowego według ujednoliconej jego skali,

DG - Graniczna dolna kryterialna wartość przedziału danego stopnia zagrożenia składowego według właściwej dla danej metody oceny skali wartościowania,

GG - graniczna górna kryterialna wartość przedziału danego stopnia zagrożenia składowego według właściwej dla danej metody oceny skali wartościowania,

x - wartość oceny stanu zagrożenia składowego według właściwej mu metody prognozy lub oceny.

1.2. Oddziaływania między zagrożeniami

Zagrożenia skojarzone to nietypowa forma występowania klasycznych zagrożeń naturalnych wynikająca z istnienia między nimi różnorodnych interakcji. Dla stworzenia poprawnego modelu niezbędne jest uwzględnienie w nim oddziaływań między samymi

zagrożeniami oraz skutkami stosowanych profilaktyk. W modelu takim powinny być uwzględniane charakterystyki wpływu tych oddziaływań na stany występujących zagrożeń.

Dla zagrożeń oraz oddziaływań posiadających podobne fizykochemiczne przejawy swojego występowania możliwe jest podanie ścisłych funkcyjnych ich charakterystyk. Są to jednak jedynie wyjątki i zasadniczo dotyczą tylko zagrożenia wybuchem pyłu węglowego i metanu, a w szczególności zagadnień wybuchowości ich mieszanin hybrydowych. W innych przypadkach dla zagrożeń mniej do siebie powinowatych jest to bardzo trudne lub wręcz niemożliwe. W takich sytuacjach konieczne jest wykorzystywanie metod eksperckich, które mogą być formułowane w sposób ilościowy (liczbowy) lub jakościowy [1]. Praktyczne próby liczbowego określania charakterystyk oddziaływań były nieudane. Podstawową przeszkodą w tym zakresie były naturalne ludzkie ograniczenia w możliwościach precyzyjnego wartościowania występujących w kopalniach bardzo złożonych stanów zagrożeniowych. Okoliczności te skłoniły nas do poszukiwania innych rozwiązań, w tym do prób wykorzystania zasad logiki rozmytej. Efektem tych poszukiwań jest program komputerowy realizujący możliwość prognozy i oceny stanu zagrożeń skojarzonych oraz optymalizacji doboru profilaktyk [1].

2. Zbiory i logika rozmyta

Podstawy klasycznej teorii relacji, która zaowocowała gwałtownym rozwojem matematyki i dziedzin pokrewnych, stworzył amerykański logik Charles Saunders Peirce (1839 – 1914) oraz logik niemiecki Ernst Schröder (1841 – 1902). Relacje są pojęciem szerszym od pojęcia funkcji. Formalnie - relacją jest dowolny podzbiór iloczynu kartezjańskiego dwu zbiorów (dowolny podzbiór zbioru par elementów, z których pierwszy należy do pierwszego, a drugi do drugiego zbioru), co ujmuje sytuacje, w których jednemu elementowi pewnego zbioru może być przypisanych kilka elementów drugiego. Funkcja jest natomiast relacją, w której takie sytuacje są wykluczone. Wybranej zmiennej niezależnej (elementowi pierwszego zbioru) może być przyporządkowana tylko jedna zmienna zależna (tylko jeden element drugiego ze zbiorów iloczynu kartezjańskiego). Mimo swych ograniczeń pojęcie funkcji doprowadziło nas do stanu wiedzy i technologii, w jakim obecnie się znajdujemy. Nie ma więc powodów, by negować wartość funkcji i dwuwartościowej logiki formalnej stosowanej przy konstruowaniu funkcyjnych modeli otaczającego nas świata. Jest jednak zastanawiające, że w swoim codziennym postępowaniu ludzie wcale nie posługują się

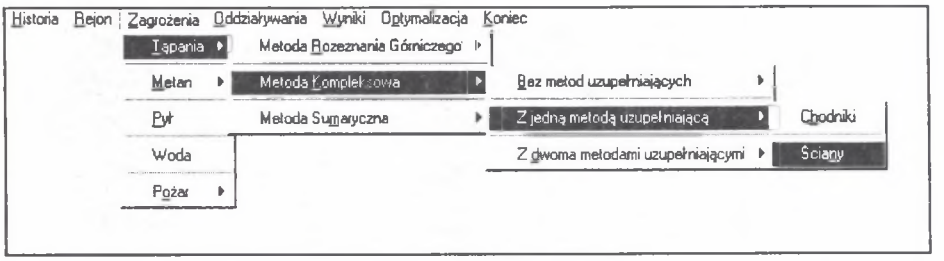
logiką dwuwartościową (prawda, fałsz), lecz używają jeszcze pojęcia możliwości. Do oceny stanu obiektu ludzie nie potrzebują liczb. Wystarczają im oceny lingwistyczne typu: dużo, mało, bezpiecznie, więcej, szybciej itp., które umożliwiają sterowanie bardzo skomplikowanymi urządzeniami czy też intuicyjny opis i przewidywanie zachowania się złożonych systemów. Przeciętnie uzdolniony człowiek [5] potrafi zapamiętać jedynie 5 do 9 charakterystycznych stanów obiektu – będących odpowiednikami liczb, co w połączeniu z regułami przybliżonego wnioskowania i logiką wielowartościową daje mu panowanie nad przyrodą. W sformalizowanej matematycznej formie logiki wielowartościowe zostały wprowadzone do nauki przez polskiego logika Jana Łukasiewicza (1878 – 1956). Początkowo jednakże nie znalazły one praktycznego zastosowania. Trzeba było poczekać aż do 1965 r., kiedy to amerykański matematyk Lotfi A. Zadeh [9] opublikował pracę definiującą pojęcie zbiorów rozmytych. Początkowo i ta praca nie wzbudzała większego zainteresowania. Gwałtowny w tym czasie rozwój komputerów (pracujących w logice dwuwartościowej) i uwieńczone niewiarygodnymi sukcesami ich coraz liczniejsze zastosowania skłaniały raczej do uznania, że w przyszłości wszystko da się rozwiązać z zastosowaniem klasycznych teorii i klasycznych metod numerycznych, a nie do poszukiwania uproszczonych, niedokładnych modeli wspartych przybliżonymi metodami wnioskowania. Wydawało się, że rozwój metod numerycznych umożliwi rozwiązanie problemów, z którymi klasyczna matematyka i fizyka nie mogły się uporać. W szczególności chodzi tu o problemy opisywane nieliniowymi równaniami lub układami równań różniczkowych. W większości przypadków nie można jednak podać analitycznego rozwiązania takich problemów, chociaż można wskazać drogę prowadzącą do tego celu. Próby numerycznej realizacji algorytmów rozwiązujących nieliniowe problemy fizyki najczęściej kończą się niepowodzeniem. W parze z nieliniowością równań różniczkowych idzie ich niestabilność prowadząca do chaosu. Niewielka zmiana parametrów opisywanego układu często prowadzi do istotnych, jakościowych zmian rozwiązania. Niewielka zmiana początkowego stanu układu może doprowadzić do zupełnie odmiennej ewolucji systemu. Nieliniowe równania różniczkowe, chociaż w swej naturze są deterministyczne, w efekcie i tak prowadzą do nieprzewidywalnych zachowań opisywanych nimi układów. Tam gdzie liniowe przybliżenia układów rzeczywistych są wystarczająco dokładne (ruch planet, laminarny przepływ płynów itp.), mamy prawie pełną kontrolę nad rzeczywistością. Jeśli nieliniowość układu jest jednak jego dominującą cechą (ruch atmosfery i związana z nim pogoda, wstrząsy sejsmiczne czy górnicze [4] itp.), możemy podać tylko statystyczną ocenę stanu układu i jego ewolucji, mimo że znamy równania rządzące tymi zjawiskami. Często nie potrafimy określić nawet równań opisujących jakieś zjawisko, np.

psychofizyczne oddziaływania międzyludzkie prowadzące do wzajemnego potrącania się przechodniów czy stłuczek samochodowych, a mimo to umiemy, dzięki **nabytym, intuicyjnym doświadczeniom**, unikać tych nieprzyjemnych zdarzeń. Małe dzieci czy początkujący kierowcy nie posiadający odpowiedniego doświadczenia znacznie częściej zderzają się między sobą. W nieco lepszej sytuacji jesteśmy wówczas, gdy z grożącym niebezpieczeństwem można skojarzyć jakiś mierzalny parametr. Zagrożenie metanowe występuje wówczas, gdy istnieje odpowiednie stężenie metanu w atmosferze kopalnianej. Podobnie jest z zagrożeniem pożarowym, wodnym, sejsmicznym czy pyłowym. Wiemy, że pewne działania ruchowe czy profilaktyczne obniżają niektóre z zagrożeń zwiększając inne, a opierając się często na intuicji doświadczonego pracownika (eksperta) można zmniejszyć sumaryczny stan zagrożenia. Problem tkwi jednak w tym, że wielu pozytywnych doświadczeń z jednej kopalni nie da się bezpośrednio transformować na inną. Niezwykle ważne są tu specyficzne oddziaływania i uwarunkowania związane z sytuacją górniczą czy geologiczną charakterystyczną tylko dla danej kopalni czy nawet tylko dla jednej ściany eksploatacyjnej. Zastosowanie teorii zbiorów rozmytych i reguł przybliżonego wnioskowania wiążących ogólne prawidłowości z unikalną wiedzą eksperta pozwala na znaczne **zobiektywizowanie** doboru optymalnej profilaktyki dla wszystkich lub dla części występujących zagrożeń kopalnianych. Tworząc odpowiedni program komputerowy unikamy przy tym ryzyka związanego z możliwą ludzką pomyłką, musimy jednak mieć na uwadze, że program ten nie da jedynie słusznych i niepodważalnych rozwiązań. Komputer staje się bardziej „ludzki" proponując rozwiązania uwzględniające ludzkie opinie, posługując się wiedzą zarówno pewną, jak i wiedzą intuicyjną obarczoną niepewnością i „mglistością" pojęć człowieka. Dzięki takim własnościom program komputerowy dziedziczy część wiedzy eksperta, której bądź nie można, bądź jeszcze nie potrafimy ująć w precyzyjne reguły matematyczne.

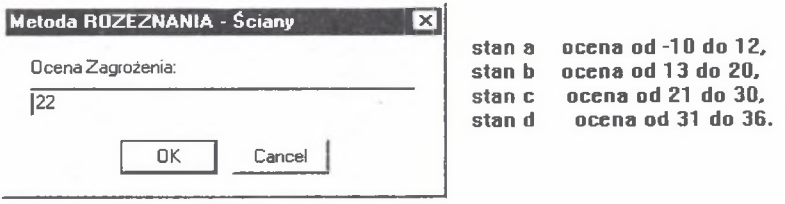
3. Rozmyta reprezentacja zagrożeń

To, czym jest zagrożenie tąpaniami, pożarami, metanem, pyłem czy wodne, nie może być precyzyjnie zdefiniowane. Znamy jedynie stochastyczne relacje między ilościową miarą jakiegoś czynnika i liczbą wypadków spowodowanych danym typem zagrożenia. Nagromadzone przez lata praktyki doświadczenia umożliwiły stworzenie klasyfikacji poszczególnych rodzajów zagrożeń – co ujmują stosowne przepisy, a dla rozpatrywanego w

tej pracy celu – sumarycznej oceny stanu kilku rodzajów zagrożeń stało, się konieczne ujednolicenie metod kwalifikacji poszczególnych zagrożeń cząstkowych. Proponowana jednolita 100 — punktowa skala zagrożeń jest jedynie transformacją liniową prawnie obowiązujących skal zagrożeń cząstkowych, przez co jest zgodna z tymi przepisami. We wspomnianym już programie komputerowym dla oceny stanu zagrożeń skojarzonych wystarczy wybrać stosowną pozycję menu i wpisać uzyskaną wartość oceny właściwą dla danego zagrożenia metodą.



Rys.2. Okno dialogowe dla wyboru rodzaju zagrożenia naturalnego i metody oceny jego stanu
Fig.2. The dialog window for nature disaster checking



Rys.3. Okno dialogowe dla transformacji ocen stanu zagrożeń
Fig.3. The dialog window for hazard quantity transformation

Komputer dokona transformacji tej oceny oraz przetworzy ją w postać zbioru rozmytego. Każde z zagrożeń składowych zostanie przedstawione w postaci takiego zbioru w postaci:

$$\Omega = \left(\frac{\alpha_1}{1}, \frac{\alpha_2}{2}, \ldots, \frac{\alpha_{100}}{100} \right) \tag{3}$$

Jego elementami są liczby 1÷100, a wpisane ponad kreską symbole α_i (i = 1, ..., 100) reprezentują wartości funkcji przynależności $\mu(i)$ elementów i do zbioru rozmytego. Funkcja przynależności μ [8] może przyjmować dowolne wartości z przedziału [0, 1]. W ogólności, jeśli dla pewnego elementu a_i jej wartością jest 1, to a_i na pewno jest elementem

rozpatrywanego zbioru. Jeśli dla pewnego a_j, $\mu(a_j)=0$, to a_j na pewno nie należy do zbioru Ξ.

$$\Xi = \left(\frac{\mu(a_1)}{a_1}, \frac{\mu(a_2)}{a_2}, \ldots, \frac{\mu(a_N)}{a_N} \right) \tag{4}$$

Pośrednie sytuacje dla $0 < \mu(a_k) < 1$ wyrażają możliwość przynależenia elementu a_k do zbioru rozmytego Ξ. Zbiory klasyczne są szczególnym przypadkiem zbiorów rozmytych. W ich przypadku funkcja przynależności elementu do zbioru przyjmuje albo wartość 1, albo wartość 0. Tak jak zbiory rozmyte przechodzą w dobrze znane zbiory elementów, kiedy znikają ułamkowe wartości funkcji przynależności, tak i operacje zdefiniowane na zbiorach rozmytych muszą przechodzić w klasyczne operacje mnogościowe, gdy funkcja przynależności elementów przyjmuje tylko wartość 1 lub 0. W szczególności, zaprzeczeniem $\bar{\Xi}$ zbioru Ξ jest zbiór:

$$\bar{\Xi} = \left(\frac{1-\mu(a_1)}{a_1}, \frac{1-\mu(a_2)}{a_2}, \ldots, \frac{1-\mu(a_N)}{a_N} \right) \tag{5}$$

Jeśli wartościami funkcji μ są tylko zera lub jedynki, to relacja (5) staje się klasycznym wyrażeniem negacji.

Pomijając matematyczne szczegóły teorii leżące u podstaw algebry zbiorów rozmytych (można je znaleźć np. w cytowanej już pracy Yagera [8]), dla potrzeb niniejszego artykułu podajemy jedynie wybrane ostateczne zależności. Sumowanie zbiorów rozmytych wymaga przeprowadzenia operacji s-normy (zwanej też t-konormą) $S(\mu_\Xi(a_i), \mu_\Psi(a_i))$ na wartościach funkcji przynależności tych samych elementów sumowanych zbiorów rozmytych Ξ, Ψ:

$$\Xi \cup \Psi = \left(\frac{S(\mu_\Xi(a_1), \mu_\Psi(a_1))}{a_1}, \frac{S(\mu_\Xi(a_2), \mu_\Psi(a_2))}{a_2}, \ldots, \frac{S(\mu_\Xi(a_N), \mu_\Psi(a_N))}{a_N} \right) \tag{6}$$

W najprostszym i najczęściej stosowanym przypadku operatorem tym jest pobieranie maksimum $\max(\mu_\Xi(a_i), \mu_\Psi(a_i))$, chociaż liczba możliwych przepisów [Piegat 1999] dla s-normy nie jest niczym ograniczona. W zbudowanym przez nas programie analizy stanu zagrożeń skojarzonych wybraliśmy s-normę w postaci:

$$S(\alpha, \beta) = 1 - \left[(1-\alpha)^{-1} + (1-\beta)^{-1} - 1 \right]^{-1} \tag{7}$$

Jest to jedyny znany nam przepis mający nie tylko akademickie znaczenie. Wzór (7) jest stosowany w sejsmologii [7] dla sumowania efektów niszczenia górotworu.

Operacja przecięcia zbiorów jest sprzężona z operacją sumowania. Jeżeli operator $S(\alpha,\beta)$ jest t-konormą, to operator $T(\alpha,\beta)$ określony związkiem:

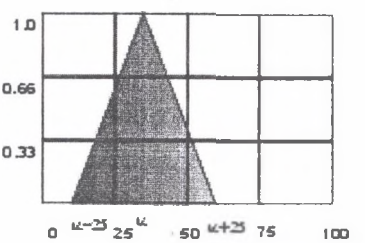
$$T(1-\alpha,1-\beta)=1-S(\alpha,\beta) \tag{8}$$

jest operatorem t-normy i uczestniczy w procesie brania części wspólnej zbiorów rozmytych. Jeśli więc sumowania zbiorów dokonuje się z użyciem operatora max(α, β), to odpowiadającym mu operatorem iloczynu (operator t-normy) jest operator min(α, β). Operator t-normy odpowiadający t-konormie (7) jest postaci

$$T(\alpha,\beta)=\left(\alpha^{-1}+\beta^{-1}-1\right)^{-1} \tag{9}$$

Dowolne zagrożenie można przedstawić w ujednoliconej skali 100 - punktowej zadając obliczonej wartości zagrożenia α liczbę μ(α) = 1. Zgodnie z obowiązującymi przepisami w oparciu o liczbę α przypisujemy rozpatrywanemu zagrożeniu stosowny stan (a, b, c, b, NB), a wynik klasyfikacji determinuje dalsze postępowanie. **Jednak, w istocie rzeczy, wcale nie jesteśmy pewni poprawności dokonanej klasyfikacji – rzeczywiste zagrożenie może być większe lub mniejsze**. W terminologii zbiorów rozmytych potrafimy ściśle opisać taką sytuację. Wystarczy wartościom mniejszym i większym od α przypisać ułamkowe wartości funkcji przynależności do rozpatrywanego zagrożenia.

Trójkątne funkcje przynależności z uwagi na swą prostotę są najczęściej używanymi związkami charakteryzującymi stopień przynależności elementów do zbioru rozmytego. W sytuacjach, w których można określić parametry charakteryzujące dane zjawisko, stosowane są funkcje typu gaussowskiego czy nawet związki uzyskane w wyniku analizy ankiet socjologicznych.

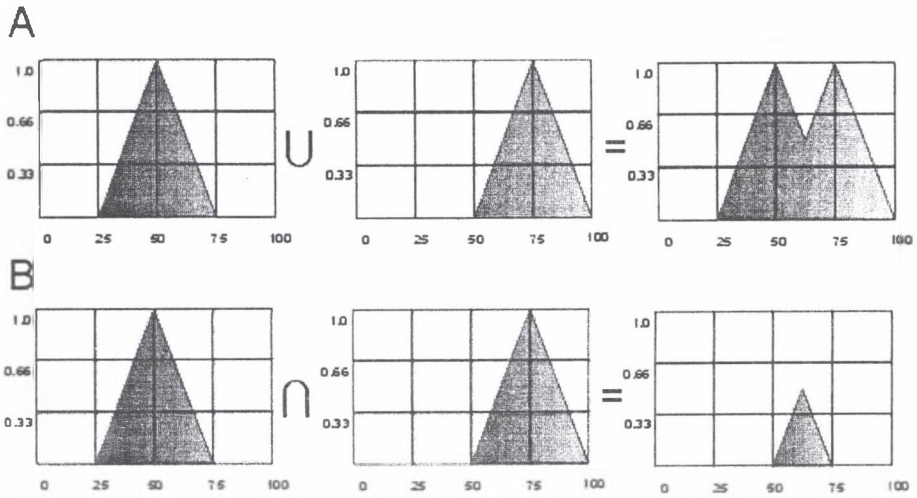


Rys.4. Rozmyty model stanu zagrożenia
Fig.4. Fuzzy model of hazard

Schematyczny wynik sumowania i iloczynu dwóch dowolnego rodzaju zagrożeń o trójkątnych funkcjach przynależności przedstawia rysunek 5.

O ile proces tworzenia zbiorów (zagrożeń) rozmytych nazywamy fuzyfikacją, to proces odwrotny, polegający na przyporządkowaniu zbiorowi rozmytemu jednej liczby, nazywa się defuzyfikacją. Najczęściej proces defuzyfikacji realizuje się używając wyrażenia

$$a = \frac{\sum_{i=1}^{n} \alpha_i a_i}{\sum_{i=1}^{n} \alpha_i} \tag{10}$$



Rys.5. Suma (A) i iloczyn (B) zagrożeń o wartościach 50 i 75 w skali 100 - punktowej
Fig.5. The sum (A) and product (B) of fuzzy hazards

Przy zapisie zagrożeń rozmytych z użyciem symetrycznych, trójkątnych funkcji przynależności zdefuzyfikowana wartość zagrożenia równa jest tej liczbie, której stopień przynależności jest jedynką. Jeśli w wyniku składania zagrożeń uzyskamy rezultat podobny do przedstawionego na rysunku 5A (na ogół w wyniku sumowania dostaje się o wiele bardziej skomplikowane przebiegi), to wynik defuzyfikacji określa ilościowo stan zagrożenia sumarycznego (skojarzonego) dla wszystkich zagrożeń składowych. Wynik defuzyfikacji sumy zagrożeń cząstkowych jest analogiczny do zagrożenia odczuwanego przez ludzi i wynikającego z kumulacji kilku niebezpieczeństw. Istniejący stan zagrożenia komputer może

opisać liczbą, natomiast człowiek charakteryzuje go używając pojęć typu: brak zagrożenia, zagrożenie małe, średnie, duże czy też bardzo duże.

Aby umożliwić komputerowi posługiwanie się pojęciami typowymi dla ludzkiego sposobu myślenia, tworzymy 7 wzorców zagrożeń. Dwa z nich, brak zagrożenia - wszystkie wartości funkcji przynależności są zerami i zagrożenie totalne - wszystkie wartości funkcji przynależności są jedynkami, zostały wprowadzone jedynie dla wygody programowania komputera, natomiast pozostałych 5 wzorców jest istotnych, gdyż opisują typowe sytuacje górnicze.

Zagrożenie bardzo małe

W 100-stopniowej skali zagrożeń największą wartość funkcji przynależności zadajemy zagrożeniu zerowemu, a ułamkowe wartości zadajemy zagrożeniom mieszczącym się w przedziale od 25 do 0. Wartości zerowe przypisane są zagrożeniom określanym punktacją nie mniejszą niż 25. Wzorzec „bardzo małe" odpowiada brakowi zagrożenia (stanowi zagrożeń „a") ujmując również i to, że realna sytuacja kopalniana nigdy nie jest całkowicie bezpieczna.

Zagrożenie małe

Niezerowe wartości funkcji przynależności przypisujemy wartościom zagrożeń większym od 0 i mniejszym od 50. Funkcja przynależności ma wartość 1 dla zagrożenia 25. Wzorzec tego zagrożenia odpowiada stanowi zagrożenia „b". Zagrożeniem typu „małe" objęte są też wszystkie wartości zagrożeń typu „bardzo małe", gdyż w istocie wiemy jedynie, czym jest brak zagrożenia, natomiast nie wiemy, do której z klas należy jakiekolwiek z niezerowych zagrożeń.

Zagrożenie średnie

Funkcja przynależności ma wartość 1 dla zagrożenia 50, a niezerowe wartości mają funkcje przynależności dla zagrożeń z przedziału od 25 do 75. Wzorcem tego zagrożenia objęty jest stan zagrożeń „c".

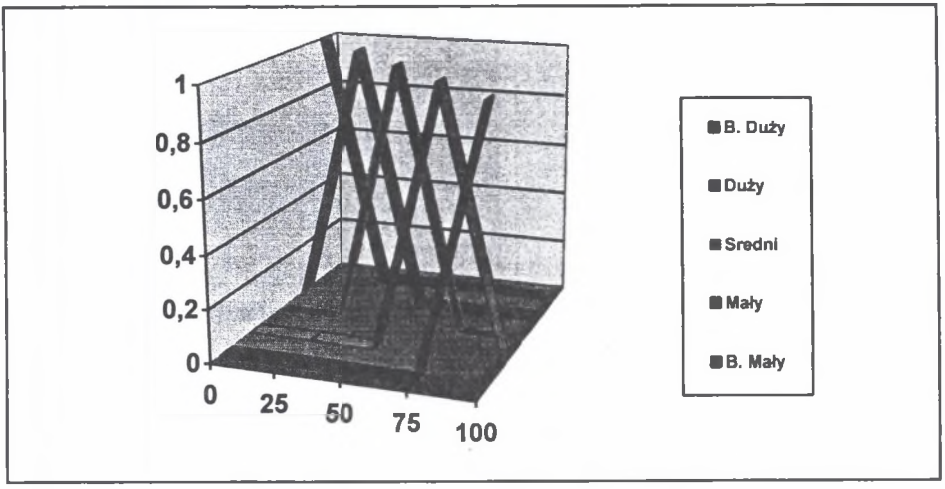
Zagrożenie duże

Funkcja przynależności ma wartości niezerowe dla zagrożeń z przedziału od 50 do 100 przyjmując swoją maksymalną wartość 1 dla zagrożenia 75. Wzorzec zagrożenia „duże" odpowiada stanowi zagrożeń „d". W jego obszarze znajdują się jednak wyższe wartości

zagrożenia średniego i niższe wartości zagrożenia „bardzo dużego", co odpowiada typowej dla ludzkiego sposobu pojmowania niepewności w ocenie zaistniałej sytuacji.

Zagrożenie bardzo duże

Wzorzec zagrożenia odpowiada stanowi „NB". Niezerowe wartości funkcji przynależności odpowiadają zagrożeniom większym od 75.



Rys.6. Wzorce kryterialnych stanów zagrożeń
Fig.6. The fuzzy category of disasters

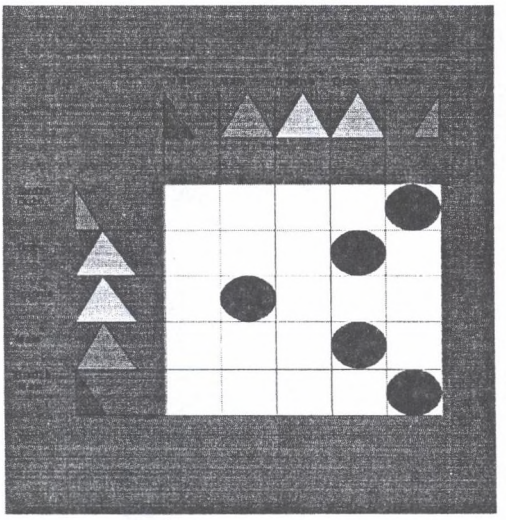
W wyniku różnych operacji prowadzonych na zagrożeniach (zbiorach rozmytych) uzyskuje się zbiory rozmyte o bardzo skomplikowanych przebiegach funkcji przynależności. Liczba uzyskana w procesie defuzyfikacji takiego zbioru nie musi odpowiadać faktycznemu stanowi zagrożenia. Może się zdarzyć, że liczba ta będzie duża, chociaż wszystkie zagrożenia są niewielkie. Może też zaistnieć odwrotna sytuacja: duże zagrożenia w koniunkcji z odpowiednio dobranymi wartościami funkcji przynależności dadzą małą wartość zdefuzyfikowaną. Człowiek bazujący na pojęciach lingwistycznych unika takich błędów podając typ wzorca (nazwę) najlepiej odpowiadający danej sytuacji. W teorii zbiorów rozmytych dokonujemy analogicznej oceny dopasowując dany zbiór do konkretnego wzorca reprezentującego pojęcie lingwistyczne. Techniczne dopasowanie pojęcia Σ do zbioru Ω jest wykonywane [8] przy użyciu funkcji Poss:

$$Poss(\Xi / \Omega) = \max_{a_i}\{\Omega \cap \Xi\} \tag{11}$$

W miejsce pojęcia Σ wstawiane są do tego wzoru zbiory rozmyte reprezentujące pojęcia „bardzo małe", „małe", „bardzo duże" itd. i przy tym samym zbiorze rozmytym Ω opisującym analizowany stan zagrożenia otrzymuje się liczby opisujące stopień przynależności zagrożenia do kolejnych pojęć. Największa z tak otrzymanych liczb wskazuje wzorzec zagrożenia najlepiej odpowiadający zaistniałej sytuacji.

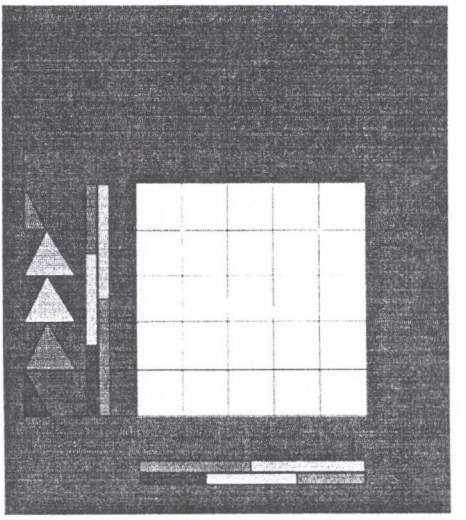
4. Wnioskowanie

Typowe dla procesu ludzkiego myślenia wnioskowanie polega na utworzeniu pojęcia wynikowego z kilku (w szczególności z jednej) przesłanek. O jakości przeprowadzonej dedukcji decyduje posiadana przez człowieka wiedza teoretyczna i praktyczna. Wiedzę teoretyczną zdobywamy poznając modele otaczającego nas świata i jest ona na tyle użyteczna, na ile poprawne są owe modele rzeczywistości. Wiedzę teoretyczną możemy otrzymać od swoich nauczycieli, wiedzę praktyczną zdobywamy ucząc się na własnych błędach. Istotą wiedzy praktycznej jest jej niepewność, w wielu przypadkach polega ona wyłącznie na zapamiętaniu kolejności przyczyn i skutków. Ponieważ nigdy nie powtarza się dokładnie taka sama sytuacja początkowa, nie możemy mieć pewności, że i skutek będzie taki jak zapamiętany. Aby komputer mógł symulować proces dedukcji, musimy mu przekazać wymaganą wiedzę. Tworzymy więc bazę reguł wnioskowania, to jest relacji stwierdzających, jak zmieniają się poszczególne typy zagrożeń (bardzo małe, małe, średnie, duże, bardzo duże) w wyniku oddziaływania różnorodnych czynników, w tym w szczególności skutków zastosowanych profilaktyk oraz oddziaływań zagrożeń na siebie. Każde oddziaływanie może wpływać na stan każdego z zagrożeń i dla każdego z nich musimy podać relację określającą te zmiany. Musimy więc określić, na jaki rodzaj zagrożenia zmienia się początkowo bardzo małe, małe, średnie, duże i bardzo duże zagrożenie. Tak skonstruowaną bazę reguł przedstawia rysunek 7. Rozpatrywane oddziaływanie może więc początkowo bardzo małe zagrożenie przekształcić w zagrożenie bardzo duże, małe przekształcić w duże itp. W wyniku nabytego doświadczenia potrafimy intuicyjnie przedstawić tego rodzaju wiedzę odniesioną do wielu sytuacji górniczych.



Rys.7. Relacja wiążąca stany zagrożenia początkowego (kolumna z lewej strony planszy) ze stanem końcowym (górny wiersz planszy)

Fig.7. The connection of the origin state (left column) and the output state (top of the figure)



Rys.8. Przekształcenie funkcji w relację

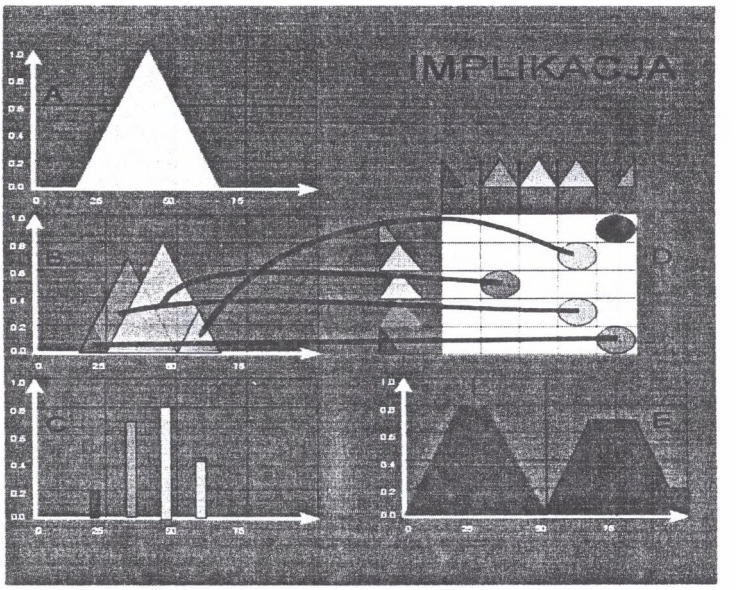
Fig.8. The functional and relation presentation

Gdybyśmy dysponowali ścisłą, teoretyczną wiedzą wyrażoną związkami funkcyjnymi, to i tak można by było przedstawić ją w postaci relacji. Rysunek 8 przedstawia funkcję prowadzącą do relacji przedstawionej na poprzednim rysunku.

Istnieje jednak wiele funkcji prowadzących do identycznych relacji, przez co nie możemy relacji przekształcić w związek funkcyjny. Siła logiki rozmytej wiąże się właśnie z tym faktem. Nie dysponując dokładnymi relacjami funkcyjnymi potrafimy przez uwzględnienie jedynie intuicyjnej informacji określić zmieniający się stan układu. Jeśli zaś dysponujemy odpowiednią teorią, to po ewentualnym zwiększeniu liczby pojęć wzorcowych, decydującym o dokładności wykonywanych przekształceń, potrafimy dołączyć ją do części intuicyjnej.

Proces dedukcji ilustruje rysunek 9.

Pojęcie rozmyte A zostaje porównane z bazą wzorców i rozłożone na fragmenty pojęć bazowych B. Równocześnie wyznacza się współczynniki aktywacji poszczególnych reguł wnioskowania C. W oparciu o relację D każdą składową analizowanego pojęcia przekształca się w pojęcie wynikowe. Pojęcia wynikowe zostają zsumowane po przemnożeniu przez współczynniki aktywacji reguł wnioskowania dając ostateczny wynik implikacji E. Formalnie, efekt działania relacji R (oddziaływania) możemy zapisać wzorem:



Rys.9. Implikacja w systemie logiki rozmytej
Fig.9. The implication method in fuzzy logic system

R: jeśli $A = \Omega_i$ to zachodzi Ξ_j, i, j = 1, 2, ..., N. (12)

gdzie:

N - liczba pojęć wzorcowych,

Ω_i - pojęcia wzorcowe,

A - rozmyta przesłanka wnioskowania (zagrożenie).

Ponieważ równość $A = \Omega_i$ może być spełniona dla kilku wzorców Ω_i w stopniu

$$\tau_i = \mathrm{Poss}(A/\Omega_i), \tag{13}$$

więc dla uzyskania pełnego wyniku wnioskowania E wynikowe pojęcia wzorcowe Ξ_j muszą być zsumowane po wcześniejszym przemnożeniu przez współczynniki τ_i aktywacji odpowiadających im wzorcowych przesłanek wnioskowania:

$$E = \cup_{j(i)} \tau_i \, \Xi_j \, . \tag{14}$$

Fakt sumowania po wzajemnie sprzężonych parach indeksów i oraz j został podkreślony symbolem j(i).

W rzeczywistości, na wynikowy stan zagrożenia E ma wpływ cała seria (M) kolejno po sobie następujących oddziaływań i przyporządkowanych im relacji R_k (k =1, 2, ..., M). Aby je

uwzględnić, musimy wykonać serię przekształceń (12) – (14) rozpoczynającą się od zagrożenia początkowego „a". W wyniku kolejno uwzględnianych oddziaływań może się okazać, że początkowe zerowe zagrożenie któregoś rodzaju uzyska niezerowe wartości, gdyż oddziaływania muszą uwzględnić możliwość powstania zagrożenia innego rodzaju. W takim przypadku komputer analizuje zmiany stanu tego dodatkowego zagrożenia i uwzględnia jego wpływ na sumaryczne zagrożenie końcowe. Jeśli już na początku analizy wiadomo, że mamy do czynienia z równocześnie występującą serią zagrożeń, to komputer analizuje każde z nich, a wynik końcowy jest sumą wszystkich występujących zagrożeń składowych.

Przy wzajemnych interakcjach między zagrożeniami, a w szczególności gdy są one skutkami stosowanych profilaktyk, na końcowy stan zagrożeń skojarzonych wpływa również kolejność ich realizacji. Kolejność uwzględnianych oddziaływań ma więc wpływ na ocenę stanu zagrożeń skojarzonych. Aby znaleźć optymalną sekwencję K oddziaływań i odpowiadającą im kolejność ich zastosowania, musimy powtórzyć wszystkie analizy K! razy i wybrać serię odpowiadającą minimalnemu zagrożeniu końcowemu. Już przy stosunkowo niewielkich liczbach K (dla K = 7 mamy już 5040 możliwości) wykonanie analogicznej pracy przez człowieka staje się niemożliwe.

5. Podsumowanie

Teoria zbiorów rozmytych i logika rozmyta są stosunkowo nowymi działami nauki. Swoją dużą popularność i uznanie zyskały najpierw w Japonii, a dopiero później w USA, to jest w kraju swych narodzin,i w Europie. Na bazie tej teorii powstało już wiele inteligentnych, dostępnych w handlu urządzeń, takich jak np. inteligentny aparat mierzący ciśnienie krwi, pralki automatyczne samodzielnie uwzględniające stopień zabrudzenia prania, samodzielnie wybierające program i samodzielnie dawkujące ilość środków piorących, kamery wideo samodzielnie likwidujące drgania obrazu itp. Istnieją także duże systemy sterowania pracą złożonych kompleksów przemysłowych, jak np. elektrownia, oraz trwają prace nad rozmytym sterowaniem samochodami.

Zastosowanie logiki rozmytej dla prognozowania i oceny stanu zagrożeń skojarzonych oraz optymalizacji profilaktyk niezbędnych dla zwalczania zagrożeń składowych tworzących to zjawisko jest jedyną dotychczas próbą, która w sposób kompleksowy rozwiązuje te zagadnienia. Klasyczne próby rozwiązania tego problemu w praktyce nie powiodły się z

powodu naturalnych ograniczeń związanych z rodzajem i zasobem niezbędnej wiedzy oraz subiektywnymi ograniczeniami ludzkiego intelektu.

Komputerowy program analizy stanu zagrożeń skojarzonych uwzględnia 5 naturalnych zagrożeń składowych: sejsmiczne, pożarowe, metanowe, wodne i pyłowe. Przyjęta filozofia postępowania oraz rozwiązania programowe umożliwiają rozszerzenie tego zakresu na dowolne inne zagrożenia. Umożliwiają także łatwą modyfikację istniejących i tworzenie własnych typów oddziaływań. Program pozwala też na sporządzanie dokumentacji prowadzonych analiz.

LITERATURA

1. Kabiesz J.: Zagrożenia skojarzone. W monografii pt. Kierunki poprawy bezpieczeństwa pracy w kopalniach węgla kamiennego. Wydawnictwo GIG, Katowice, w druku.
2. Kabiesz J.: Kompleksowe prognozowanie stanu zagrożeń skojarzonych.; w Geotechnika Górnicza i Budownictwo Podziemne, Materiały XX Zimowej Szkoły Mechaniki Górotworu, 3 - 7 marca 1997, Szklarska Poręba, Dolnośląskie Wydawnictwo Edukacyjne, Wrocław 1997.
3. Kabiesz J., Konopko W.: Problemy skojarzonych zagrożeń górniczych w polskich kopalniach węgla kamiennego. Bezpieczeństwo Pracy i Ochrona Środowiska w Górnictwie, Miesięcznik Wyższego Urzędu Górniczego, nr 5 (33)/97.
4. Kemeny J. M., Hagaman R. M.: An Asperity Model to Simulate Rupture along Heterogeneous Fault Surfaces. PAGEOPH, vol. 138, No. 4 (1992), pp 549-567.
5. Kruse R., Gebhard J., Klawonn F.: Foundations of Fuzzy Systems. Jon Wiley and Sons, New York 1994.
6. Piegat A.: Modelowanie i sterowanie rozmyte. Akad. Ofic. Wyd. Warszawa 1999.
7. Wanat K.: Stabilność masywu skalnego. W pracy: Przodki ścianowe o wysokiej koncentracji produkcji. Wyd. Pol. Śl., Katowice – Gliwice 1994.
8. Yager R. R., Filev D. P.: Essentials of Fuzzy Modeling and Control, Jon Wiley and Sons, New York1994.
9. Zadeh L. A.: Fuzzy Sets. Information and Control 1965, vol. 8, pp. 338-353.

Recenzent: prof. dr hab. inż. Tadeusz Majcherczyk

Abstract

Recent advances in the theory of artificial intelligence was found a lot of applications. Computers, based on a simple sets of human knowledge and fuzzy logic, are able to finking

almost like a human. This method is no so precision like fully determined physical theories but in the case when exact information or exact model of the phenomenon been consider are disable it is only possible way to go. A full mine hazard contain a lot of detail hazards and any one of them haven't precision descriptions or methods of determinations. A hazard like many other concepts, can been treated in the term of fuzzy logic and fuzzy sets. This relatively new theory settled by Zadeh [9] is very useful on description and to performing an operation of such fuzzy concerns. The results are very common to human kind of thinking and behavior.