

dr ANNA SKŁAD

Centralny Instytut Ochrony Pracy
– Państwowy Instytut BadawczyKontakt: anskl@ciop.pl

DOI: 10.5604/01.3001.0010.8529

Modelowanie systemów zarządzania bhp z wykorzystaniem metody rozmytych map kognitywnych i wskaźników wiodących – ujęcie teoretyczne

Fot. ktsdesign/Bigstockphoto



W celu poprawy skuteczności systemu zarządzania bhp używa się w wielu przedsiębiorstwach zestawu wskaźników wynikowych i wiodących do pomiaru poszczególnych procesów w tym systemie. Na podstawie wartości wskaźników odnotowanych w danym okresie, planuje się działania zapobiegawcze. Polegają one przede wszystkim na poprawie realizacji procesów w taki sposób, aby w kolejnym okresie osiągnąć założone wartości wskaźników w obszarach, w których aktualnie odnotowane wartości nie były satysfakcjonujące. W artykule zaprezentowano metodę rozmytych map kognitywnych, która oferuje możliwości szerszego wykorzystania informacji zawartych w wartościach wskaźników. Metoda ta zakłada opracowanie modelu systemu w formie zbioru elementów tworzących system oraz zachodzących pomiędzy tymi elementami wzajemnych wpływów. Posługując się wzorem matematycznym, można określić wartości poszczególnych elementów modelu, a następnie prognozować ich przyszłe wartości. Niekorzystne prognozy są podstawą do podjęcia działań zapobiegawczych w modelowanym systemie.

Wykorzystując metodę rozmytych map kognitywnych można opracować model systemu zarządzania bhp. Elementami modelu będą poszczególne procesy oraz poziom bezpieczeństwa. Wartości wskaźników wynikowych i wiodących zostaną zastosowane do obliczenia wartości tych elementów. Prognozowanie z wykorzystaniem takiego modelu mogłoby w przedsiębiorstwie istotnie wspierać poprawę skuteczności systemu zarządzania bhp.

Słowa kluczowe: modelowanie systemów, zarządzanie bhp, rozmyte mapy kognitywne, wskaźniki wiodące

Modelling occupational health and safety management systems with fuzzy cognitive maps and leading indicators: a theoretical approach

In order to improve the effectiveness of an occupational safety and health management system (OSH MS), many enterprises use sets of leading and lagging performance indicators to measure individual processes in the system. Based on the value of indicators recorded in a given period, preventive measures are planned in the system. These measures are aimed at improving the processes in which the recorded indicators values did not reach their target values. This paper presents fuzzy cognitive maps, which enable an alternative application of indicators values. This method is based on the development of a system model consisting of a set of elements forming the system and the interconnections (influences) between these elements. Using a mathematical formula, it is possible to determine the values of the individual elements of the model and then forecast their future values. Unfavorable forecasts are the basis for taking preventive actions in a modeled system. By using fuzzy cognitive maps, it is possible to develop an OSH MS model. Individual processes and safety performance would be elements of the model. Leading and lagging indicator values would be used to determine the value of these elements. Forecasting on the basis of the model could significantly support the effectiveness of an OSH MS in an enterprise.

Keywords: system modeling, OSH management, fuzzy cognitive maps, indicator values

Wstęp

Skuteczność systemów zarządzania bhp (SZ BHP), rozumiana jako ich potencjał do poprawy bezpieczeństwa w przedsiębiorstwach, jest przedmiotem toczącej się od lat dyskusji. Opinie o tym, czy wdrażanie tych systemów wpływa na poprawę bezpieczeństwa, czy też nie, są podzielone. Nawet zwolennicy ich wykorzystywania uważają, że zapewnienie ich skuteczności wymaga zaangażowania w przedsiębiorstwie określonych zasobów, zarówno w fazie wdrożeniowej, jak i później, kiedy system już działa i jest doskonały. Trafne definiowanie działań, które należy podjąć w celu zapewnienia i poprawy skuteczności systemu jest zatem wyjątkowo ważne w każdej z tych faz.

Jednymi z częściej stosowanych miar skuteczności SZ BHP¹, jednocześnie pełniącymi rolę narzędzi wspierających poprawę tej skuteczności, są zestawy wskaźników wynikowych i wiodących, których używa się do pomiaru poszczególnych procesów tworzących system. Problem polega jednak na tym, że kierownictwo przedsiębiorstwa nie jest w stanie kompleksowo ocenić potencjału wielowarstwowej struktury systemu, bazując na wartościach pojedynczych wskaźników, czy to analizowanych oddzielnie, czy wspólnie. Istotą systemu jest bowiem to, że jego poszczególne elementy wywierają na siebie wzajemnie wpływ.

Analizowanie wartości wskaźnika służącego do pomiaru określonego procesu bez gruntownej wiedzy o tym, jakie procesy na niego wpływają (tj. pod wpływem jakich procesów się on kształtuje), nie pozwala zatem

¹Zestaw wzajemnie powiązanych lub wzajemnie oddziałujących elementów służących ustanawianiu polityki i celów bhp oraz osiąganiu tych celów.

zrozumieć, z czego wynika taka, a nie inna jego wartość. Nie pozwala również określić działań, które spowodują, że jego wartość będzie zgodna z oczekiwaniami.

Celem artykułu jest zaproponowanie kierownictwu przedsiębiorstw nowego narzędzia, wspierającego poprawę skuteczności systemów zarządzania bhp w przedsiębiorstwach, wykorzystującego metodę rozmytych map kognitywnych. Bazując m.in. na miarach procesów, narzędzie to umożliwia modelowanie wpływów, które procesy wywierają na siebie nawzajem oraz prognozowanie zmian, do których te wpływy doprowadzą.

Wskaźniki oceny procesów w systemie zarządzania bhp jako narzędzia wspierające ich skuteczność

Dyskusja na temat skuteczności SZ BHP zaowocowała w ostatnich latach licznymi badaniami i publikacjami, dotyczącymi metod zapewniania i poprawy tej skuteczności [1-2]. Jedną z nich jest metoda, przyjmująca za podstawę stosowanie miar procesów, tj. wskaźników wiodących, służących do oceny poszczególnych elementów w SZ BHP, a następnie – podejmowania decyzji dotyczących doskonalenia tych procesów na podstawie otrzymanych wartości tych wskaźników [3-7]. W anglojęzycznych publikacjach wynik pomiaru takich wskaźników określa się mianem *safty performance*, co przetłumaczyć można jako „wyniki w zakresie bezpieczeństwa”. W tym ujęciu doskonalenie wyników przedsiębiorstwa w dziedzinie bezpieczeństwa (równoznaczne z poprawą skuteczności systemu zarządzania bhp) polega na zmianach pewnych aspektów funkcjonowania poszczególnych procesów w taki sposób, aby wartości wskaźników wynikowych i wiodących uległy poprawie.

Biorąc pod uwagę definicję SZ BHP wg Międzynarodowej Organizacji Pracy [8], o tym, czy uda się zrealizować zaplanowane cele bhp decydują jednak nie tylko procesy systemu, ale również wpływy pomiędzy nimi. Istnienie tych wpływów sprawia, że zmiana jednego procesu (jego poprawa lub pogorszenie) prowadzi do zmian (poprawy lub pogorszenia) innych procesów, na które ten pierwszy wywiera wpływ. Natomiast wartości wskaźników, choć stanowią cenne źródło wiedzy na temat tego, w jaki sposób przebiega realizacja procesów w danym przedsiębiorstwie, to do wpływów, które procesy wywierają na siebie nawzajem w ogóle się nie odnoszą. Znając wartości wskaźników bhp w przedsiębiorstwie, jego kierownictwo zwraca zazwyczaj szczególną uwagę na te obszary, w których nie osiągnięto założonych wyników (wartości wskaźników są niższe niż oczekiwano).

Problem polega na tym, że źródło zidentyfikowanych niepowodzeń może generować zupełnie inny proces, niż ten, którego realizacja jest oceniana jako „zła”. Na przykład, przyczyną

niezrealizowania planu audytów w ramach procesu audytów wewnętrznych, może być niezapewnienie odpowiednich zasobów w procesie zarządzania zasobami lub brak niezbędnych szkoleń w ramach procesu szkoleń. Wymaganie przez kierownictwo przedsiębiorstwa poprawy wskaźnika w zakresie stopnia realizacji planu audytów, bez analizy systemu jako całości, jest w takiej sytuacji po prostu nierozważne. Dopiero kompleksowe spojrzenie na wszystkie procesy wraz z wpływami, które wywierają na siebie nawzajem, umożliwi podjęcie decyzji o tym, co w systemie należy poprawić, aby wskaźniki osiągnęły zakładane wartości.

Co więcej, jak stanowią wymagania projektu nowej normy – ISO 45001 – planując działania w SZ BHP, należy określić tzw. „kontekst organizacji”, czyli zewnętrzne i wewnętrzne kwestie, które są istotne dla jego celów i które wpływają na jego skuteczność w kontekście zarządzania bhp [9]. Na kontekst składają się warunki, właściwości i zmieniające się okoliczności funkcjonowania przedsiębiorstwa. Kontekst obejmuje zarówno czynniki, które wspierają procesy systemu, jak również takie, które te procesy zakłócają, przy czym mogą one mieć swoje źródło wewnątrz przedsiębiorstwa, ale także poza nim. Również biorąc pod uwagę istnienie kontekstu oraz jego wpływ na system zarządzania bhp, należy stwierdzić, że wskaźniki do oceny poszczególnych procesów w tym systemie dostarczają zbyt mało informacji, aby tylko na ich podstawie kierownictwo przedsiębiorstwa było w stanie zapewnić skuteczność jego działania.

Na tym tle rysuje się potrzeba zastosowania nowych metod i opracowania doskonalszych narzędzi wspierających zapewnianie skuteczności systemów zarządzania bhp. Wykorzystując wyniki badań i bogate doświadczenia firm w zakresie stosowania wskaźników, narzędzia te powinny dodatkowo ułatwiać menedżerom gromadzenie wiedzy o kontekście przedsiębiorstwa oraz o wpływach wywieranych pomiędzy procesami w systemie oraz pomiędzy procesami a wewnętrznymi i zewnętrznymi czynnikami stanowiącymi kontekst. Co więcej, aby usprawniać procesy decyzyjne w firmach, narzędzia wspierające zapewnianie skuteczności systemów zarządzania bhp powinny również oferować możliwość prognozowania skutków wpływania procesów na inne procesy w systemie oraz skutków wpływania czynników stanowiących kontekst. Efektem tych prognoz powinny być przewidywane wyniki w zakresie bezpieczeństwa (diagnoza wyrażona prognozowanymi wartościami wskaźników wynikowych i wiodących, których używa się do pomiaru poszczególnych procesów), przy założeniu określonego stanu początkowego (wyrażonego aktualnymi wartościami wskaźników).

Narzędzia, o których mowa wyżej, można by również wykorzystywać do prognozowania, w jaki sposób ukształtują się przyszłe wyniki

w zakresie bezpieczeństwa (prognozowane wartości wskaźników), przy założeniu innych niż początkowe wartości wskaźników. Na przykład, jeśli w danym przedsiębiorstwie wartości wskaźników do pomiaru procesu audytu są wysokie, ale jeden z audytorów odchodzi na emeryturę i wiadomo, że w związku z tym mogą się obniżyć, to idealne narzędzie, wspierające kierownictwo tego przedsiębiorstwa w podejmowaniu decyzji, powinno przedstawić prognozę przyszłych wyników firmy w zakresie bezpieczeństwa z uwzględnieniem początkowych, obniżonych wartości wskaźników do pomiaru procesu audytu. Zapoznanie się z tą prognozą byłoby dla kierownictwa bodźcem do podjęcia odpowiednich działań zapobiegawczych w systemie zarządzania bhp, po to, aby w przyszłości uniknąć negatywnych następstw utraty doświadczonego audytora w odniesieniu do realizacji procesu audytu. Poza tym narzędzia powinny ułatwiać kierownictwu dobór działań zapobiegawczych poprzez tworzenie prognoz w odniesieniu do różnych możliwych scenariuszy tych działań.

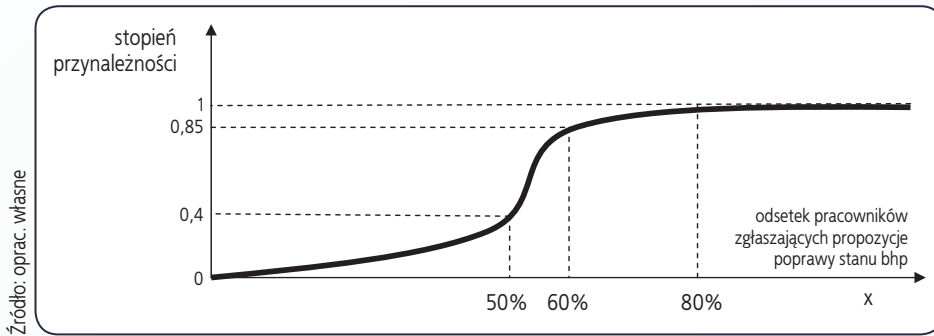
Do modelowania wpływów zachodzących pomiędzy określonymi elementami (procesami) systemów oraz prognozowania przyszłych ich wartości na podstawie ich aktualnych wartości oraz wartości wpływów służy metoda rozmytych map kognitywnych. W dalszej części artykułu zostanie ona zaprezentowana wraz z koncepcją zintegrowanego z nią narzędzia, służącego do zapewniania i poprawy skuteczności SZ BHP.

Metoda rozmytych map kognitywnych

Metoda rozmytych map kognitywnych opiera się na pojęciu zbioru rozmytego.

W odróżnieniu od pojęcia zbioru wg reguł logiki klasycznej, zgodnie z którymi przedmiot może należeć lub nie należeć do danego zbioru, zbiór rozmyty jest zbiorem złożonym z elementów, które należą do niego w określonym stopniu. Stopień przynależności do zbioru rozmytego wynosi 1, jeżeli dany obiekt należy do zbioru zgodnie z regułami logiki klasycznej, 0 – jeżeli zgodnie z tymi regułami nie należy do zbioru oraz między 0 a 1 – jeżeli zgodnie z tymi regułami nie można jednoznacznie określić jego przynależności do zbioru [10].

Na przykład, gdyby wyróżnić zbiór przedsiębiorstw, których pracownicy są zaangażowani w poprawę stanu bhp, to o niektórych przedsiębiorstwach można powiedzieć, że ich pracownicy są zaangażowani, o innych – że nie są, a o jeszcze innych że są, ale tylko w pewnym stopniu. Według logiki klasycznej w zbiorze przedsiębiorstw zatrudniających pracowników zaangażowanych w poprawę stanu bhp znajdują się tylko pierwsze z wymienionych; zgodnie z zasadami logiki rozmytej do zbioru tego w różnym stopniu będą należeć wszystkie przedsiębiorstwa.



Źródło: oprac. własne

Rys. 1. Przykładowa funkcja przynależności do rozmytego zbioru przedsiębiorstw, których pracownicy są zaangażowani w poprawę stanu bhp

Fig. 1. Sample membership function to a fuzzy set of companies where employees are involved in improving occupational safety and health conditions

Stopień przynależności do zbioru rozmytego określa tzw. „funkcja przynależności” [11]. Na rys. 1. przedstawiono przykładową funkcję przynależności μ do rozmytego zbioru przedsiębiorstw, których pracownicy są zaangażowani w poprawę stanu bhp. Stopień zaangażowania pracowników w poprawę stanu bhp mierzony jest procentowym udziałem pracowników danego przedsiębiorstwa, którzy w ciągu roku zgłosili pracodawcy przynajmniej jedną propozycję rozwiązania poprawiającego stan bhp, w ogólnej liczbie zatrudnionych w tej firmie. Wartość $\mu(x)$ dla danego odsetka pracowników zgłaszających propozycje poprawy interpretowana jest jako stopień, w jakim zatrudniające tych pracowników przedsiębiorstwo należy do zbioru przedsiębiorstw, których pracownicy są zaangażowani w poprawę stanu bhp.

Przedsiębiorstwa, których pracownicy nie zgłaszają propozycji poprawy, należą do zbioru w stopniu równym 0. Przedsiębiorstwa, w których 80 i więcej procent pracowników zgłasza propozycje poprawy, należą do zbioru w stopniu równym 1. Jeżeli odsetek pracowników zgłaszających propozycje poprawy mieści się w przedziale od 60 do 80, to przedsiębiorstwo należy do zbioru w stopniu pomiędzy 0,85 a 1. Do zbioru w stopniu mniejszym niż 0,4, ale większym niż 0 należy wtedy, gdy procent pracowników zgłaszających propozycje poprawy wynosi mniej niż 50 (ale więcej niż 0) procent. Im niższy jest odsetek pracowników zgłaszających propozycje poprawy, tym bliższy 0 jest stopień przynależności przedsiębiorstwa do zbioru przedsiębiorstw, których pracownicy są zaangażowani w poprawę stanu bhp.

Funkcjami przynależności (oprócz funkcji sigmoidalnej przedstawionej na rys. 1.) mogą być funkcje: trójkątna, trapezoidalna, Gaussa czy dzwonowa.

Metoda rozmytych map kognitywnych została opracowana przez Barta Kosko [12] w 1986 r. jako rozwinięcie wcześniejszej koncepcji map kognitywnych [13]. Najogólniej rzecz biorąc, służy ona do modelowania złożonych systemów, składających się z trudno mierzalnych i nieprecyzyjnie zdefiniowanych obiektów, które wywierają na siebie wpływy. Kosko stwierdził, że reguły logiki klasycz-

nej (dwuwartościowej), w szczególności – implikacja logiczna ($p \rightarrow q$), nie znajdują zastosowania w przypadku zdań opisujących związki przyczynowo-skutkowe. Przyjmując to stwierdzenie za podstawę swoich dalszych rozważań, zaproponował, aby w modelach systemów wykorzystywać reguły logiki rozmytej (wielowartościowej), przypisując, zarówno obiektom, jak wywieranym przez nie wpływom, właściwości zbiorów rozmytych. W praktyce oznacza to, że wartości obiektów i wywieranych przez nie wpływów mogą być określane w języku naturalnym² przez osoby pełniące w danym systemie role ekspertów. Następnie, stosując określone metody defuzyfikacji (zamiany ocen wyrażonych słowami na wartości liczbowe), oblicza się ostre wartości obiektów i wpływów. Mieszczą się one w przedziale $\{0, 1\}$ ³.

Wartość obiektu lub wpływu wywieranego pomiędzy obiektami na rozmytej mapie kognitywnej wyraża stopień przynależności tego obiektu/wpływu do określonego zbioru rozmytego.

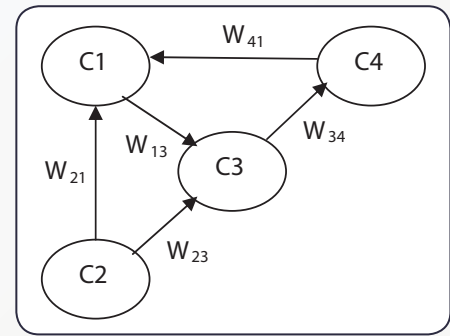
Zgodnie z sugestią Kosko, metodę rozmytych map kognitywnych należy wykorzystywać przede wszystkim w naukach społecznych i humanistycznych, w których – w odróżnieniu od matematycznych i przyrodniczych – badane obiekty trudno scharakteryzować przy pomocy obiektywnych, ostrych twierdzeń: „jest/nie ma”.

W ujęciu graficznym rozmyta mapa kognitywna jest grafem złożonym z obiektów połączonych strzałkami. Obiekty reprezentują: zdarzenia, procesy, właściwości, cechy czy zjawiska w badanym systemie, a strzałki – wpływy, jakie obiekty wywierają na siebie nawzajem. Na rys. 2. przedstawiono przykładową rozmytą mapę kognitywną.

Rozmytą mapę kognitywną w ujęciu matematycznym definiuje wektor wartości obiektów oraz macierz wartości wywieranych pomiędzy nimi wpływów. Jak wspomniano, wartości te określane są zazwyczaj na pod-

² Do szacowania tych wartości używa się skal w języku naturalnym, np. bardzo mały, mały, średni, duży, bardzo duży.

³ Standardowo w naukach matematycznych przedziały zaznacza się za pomocą nawiasów kwadratowych [], jednak ze względu na to, że są one w „Bezpieczeństwie Pracy” używane jako oznaczenia bibliograficzne, w tym miejscu zostały zastosowane znaki { } – przyp. red.



Źródło: oprac. własne

Rys. 2. Przykładowa rozmyta mapa kognitywna

Fig. 2. Sample fuzzy cognitive map

stawie szacowań eksperckich, aczkolwiek w badaniach stosowano również alternatywne metody oceny wartości obiektów i wpływów [14, 15].

Wektor wartości obiektów C i macierz wpływów W zachodzących pomiędzy obiektami na rozmytej mapie kognitywnej można przedstawić następująco:

$$C = \begin{bmatrix} C1 \\ C2 \\ C3 \\ C4 \end{bmatrix} \quad W = \begin{bmatrix} 0 & 0 & W_{13} & 0 \\ W_{21} & 0 & W_{23} & 0 \\ 0 & 0 & 0 & W_{34} \\ W_{41} & 0 & 0 & 0 \end{bmatrix}$$

Niektóre modele złożone są z obiektów będących odpowiednikami pewnych mierzalnych zdarzeń, procesów, właściwości, cech czy zjawisk. Niemniej, określając wartości takich obiektów na mapach, nie można posłużyć się wprost wynikami przeprowadzonych pomiarów, ponieważ wartości poszczególnych obiektów wyrażane są na różnych skalach pomiarowych i nie zawsze zawierają się w przedziale $\{0,1\}$. W takiej sytuacji możliwe jest znormalizowanie wyników pomiarów do wartości z tego przedziału. W tym celu wykorzystuje się średnią wartość pomiaru, a także jego wartości historyczne, takie jak wartość minimalna i maksymalna, odnotowane w pewnym czasie T. Wartość obiektu oblicza się na podstawie wzoru (1), [14].

Z kolei alternatywą dla szacowań eksperckich w zakresie oceny wartości wpływów wywieranych pomiędzy obiektami w modelowanym systemie jest zbudowanie modelu równań strukturalnych na podstawie pozyskanych danych statystycznych charakteryzujących ten system [16,17].

Sposób obliczenia wartości obiektu na rozmytej mapie kognitywnej na podstawie wartości monitorowanych wskaźników do pomiarów zdarzenia, procesu, właściwości, cechy czy zjawiska, któremu ten obiekt odpowiada, przedstawia wzór (1).

Rozmyta mapa kognitywna może być podstawą symulacji, których wynikiem są prognozy przyszłych wartości obiektów. Znając aktualne wartości obiektów oraz wartości wywieranych przez nie na siebie wzajemnych

$$g(s_i^t) = \begin{cases} 0, & \text{jeżeli } s_i^t < a_i \\ (s_i^t - a_i) / [2 \cdot (m_i - a_i)], & \text{jeżeli } a_i \leq s_i^t \leq m_i \\ 0,5 + (s_i^t - m_i) / [2 \cdot (b_i - m_i)], & \text{jeżeli } m_i < s_i^t \leq b_i \\ 1, & \text{jeżeli } s_i^t > b_i \end{cases} \quad (1)$$

gdzie:

 $g(s_i^t)$ – wartość obiektu na rozmytej mapie kognitywnej s_i^t – zmierzona aktualna wartość zdarzenia/procesu/właściwości/cechy/zjawiska a_i – minimalna wartość zdarzenia/procesu/właściwości/cechy/zjawiska odnotowana w czasie T b_i – maksymalna wartość zdarzenia/procesu/właściwości/cechy/zjawiska odnotowana w czasie T m_i – średnia wartość zdarzenia/procesu/właściwości/cechy/zjawiska odnotowana w czasie T

$$[C1, C2, C3, C4]_{t+1} = f([C1, C2, C3, C4]_t \cdot \begin{bmatrix} 0 & 0 & W_{13} & 0 \\ W_{21} & 0 & W_{23} & 0 \\ 0 & 0 & 0 & W_{34} \\ W_{41} & 0 & 0 & 0 \end{bmatrix}) \quad (2)$$

nawzajem wpływów, można – stosując określoną funkcję progową⁴ – obliczyć przyszłe wartości obiektów. Obliczenie tych wartości polega na przemnażaniu wektora aktualnych wartości obiektów przez macierz wywieranych przez nie wpływów, zgodnie ze wzorem (2) (oprac. własne).

Rozmyte mapy kognitywne mogą być wykorzystywane do analizowania różnych wariantów decyzyjnych w określonej sytuacji. Znając prognozy przyszłych wartości obiektów w modelowanym systemie, osoba nim zarządzająca wie, czy wartości te są zadowalające (zgodne z oczekiwaniami), czy nie. Jeśli zachodzi ta druga sytuacja, tzn. prognoza jest niekorzystna, to można wykorzystywać model do kolejnych prognoz, zmieniając aktualne wartości obiektów (podnosząc je lub obniżając), ustalając takie wartości, na podstawie których uzyska się korzystną prognozę. Następnie należy zdobyć wiedzę wykorzystaną w praktyce, tzn. w taki sposób ukształtować poszczególne zdarzenia, procesy, właściwości, cechy czy zjawiska, z których składa się system, aby odpowiadające im obiekty w modelu przyjęły ustalone wartości, dla których uzyskano korzystną prognozę.

Etapy tworzenia modelu systemu SZ BHP z wykorzystaniem metody rozmytych map kognitywnych

Właściwości metody rozmytych map kognitywnych wskazują, że posługując się nią, można opracować użyteczne narzędzie wspomagające doskonalenie systemów zarządzania bhp.

Podstawę takiego narzędzia stanowi model SZ BHP. Jego budowa powinna zostać powierzona ekspertom, tj. osobom mającym gruntowną wiedzę o przedsiębiorstwie oraz doświadczenie w zakresie zarządzania wdro-

żonym w tym przedsiębiorstwie SZ BHP. Stworzenie modelu obejmuje następujące etapy:

1. Wyodrębnienie obiektów odpowiadających poszczególnym procesom w systemie oraz czynnikom stanowiącym kontekst przedsiębiorstwa, które wywierają wpływ na wyniki tego przedsiębiorstwa w zakresie bezpieczeństwa oraz na procesy SZ BHP. Poza tym jeden lub kilka obiektów mogłoby odpowiadać pewnym właściwościom przedsiębiorstwa, takim jak „klimat bezpieczeństwa” czy poziom bezpieczeństwa w tym przedsiębiorstwie.

2. Określenie, pomiędzy którymi obiektami w modelu wywierane są wpływy, a także wskazanie kierunków tych wpływów.

3. Oszacowanie wartości wpływów wywieranych przez obiekty w modelu na podstawie ocen ekspertów. Ekspertów proszeni są, aby – w określonej skali wyrażonej w języku naturalnym, np. bardzo mały, mały, średni, duży, bardzo duży – ocenić, jak silny jest wpływ poszczególnych obiektów na inne obiekty. Słowne (rozmyte) oceny przekształcone w procesie defuzyfikacji w wartości liczbowe, odpowiednio uporządkowane tworzą następną macierz wpływów.

4. Obliczenie aktualnych wartości obiektów w modelu. Wykorzystując wzór (1) można – na podstawie monitorowanych w przedsiębiorstwie wskaźników do pomiaru poszczególnych procesów w systemie – w prosty sposób obliczyć te wartości obiektów w modelu, które są odpowiednikami mierzonych procesów.⁵ Dysponując wskaźnikami do pomiaru czynników stanowiących kontekst przedsiębiorstwa,

⁵ Np. przyjmijmy, że proces partycypacji pracowników jest monitorowany przy pomocy następującego wskaźnika: Liczba propozycji poprawy w zakresie bhp zgłaszanych kierownictwu przez pracowników mierzonego co miesiąc. Aktualnie wartość tego wskaźnika wynosi 50. W poprzednich miesiącach wynosiła ona 31, 46, 20, 63, 70. Średnia wartość wskaźnika wynosi zatem $\approx 46,7$, a jego wartości: minimalna i maksymalna – odpowiednio: 20 i 70. Ponieważ aktualna wartość wskaźnika jest wyższa od jego wartości średniej, wartość obiektu odpowiadającego procesowi partycypacji obliczamy wg wzoru: $0,5 + (s_i^t - m_i) / [2 \cdot (b_i - m_i)]$, i po podstawieniu wartości liczbowych oraz wykonaniu działań otrzymujemy wynik 0,507.

można je w podobny sposób wykorzystać do obliczenia wartości odpowiadających im obiektów⁶. Obliczone wartości obiektów tworzą wektor.

Równoległe z budową modelu, powinno się w przedsiębiorstwie ustalić najniższe/najwyższe dopuszczalne wartości wskaźników do pomiaru procesów oraz takie wartości poszczególnych wskaźników, których osiągnięcie jest celem przedsiębiorstwa.

Model systemu zarządzania bhp z wykorzystaniem rozmytej mapy kognitywnej może być przedmiotem analizy, polegającej w pierwszym kroku na identyfikacji w systemie tych procesów, których aktualne wartości wykraczają poza ustalone wartości dopuszczalne. Decyzja o podjęciu działań w celu poprawy takich procesów, powzięta w kolejnych krokach analizy, powinna być poprzedzona: przeglądem wszystkich procesów i czynników stanowiących kontekst przedsiębiorstwa, wpływających na proces, którego realizacja jest źle oceniana i poszukiwaniem w nich źródeł problemów.

Następnie tak opracowany model może być wykorzystany do prowadzenia symulacji. Ich rezultatem byłaby prognoza wartości obiektów. Jej wyniki powinny zostać przeanalizowane przez kierownictwo przedsiębiorstwa pod kątem tego, czy prognozowane wartości obiektów są zgodne z oczekiwaniami. Gdyby się okazało, że określonych wcześniej celów nie uda się zrealizować, byłby to dla kierownictwa przedsiębiorstwa sygnałem, że trzeba podjąć dodatkowe działania, aby temu zapobiec. Jednocześnie, definiując zakres tych działań, można posłużyć się opracowanym modelem, podnosząc i obniżając wartości tworzących go obiektów i prowadząc kolejne symulacje. Wartości obiektów będące podstawą prognozy zgodnej z ustalonymi celami, odniesione do aktualnych wartości tych obiektów, wskazywałyby, które procesy należy poprawić w przedsiębiorstwie (i w jakim stopniu), aby zrealizować ustalone cele.

Podsumowanie

Systemy zarządzania bhp są wdrażane w wielu przedsiębiorstwach – mimo to w niektórych z nich wciąż nie udaje się obniżyć ani wskaźników wypadków przy pracy, ani wskaźników zdarzeń potencjalnie wypadkowych. Oznacza to, że należy w nich podejmować działania celem poprawy skuteczności wdrożonych systemów.

Ważnym narzędziem wspierającym poprawę skuteczności SZ BHP są wskaźniki do pomiaru procesów zachodzących w danym

⁶ Czynnikiem stanowiącym kontekst przedsiębiorstwa może być np. rotacja zatrudnienia, monitorowana na podstawie wskaźnika rotacji. Przyjmijmy, że aktualna wartość wskaźnika rotacji obliczana na podstawie wzoru *Całkowita ilość odejść w danym okresie / Średnia ilość zatrudnionych w danym okresie * 100%* wynosi 5% i jest najniższą wartością wskaźnika rotacji w czasie T. Wówczas, zgodnie ze wzorem (1), wartość obiektu modelu odpowiadającego rotacji pracowników wynosi 0.

przedsiębiorstwie. Ich stosowanie umożliwia identyfikację problemów, a tym samym – daje sposobność do podjęcia działań naprawczych.

Metoda rozmytych map kognitywnych oferuje dodatkowe możliwości w zakresie wykorzystania wiedzy, której źródłem są zestawy wskaźników wynikowych i wiodących, używane do pomiaru poszczególnych procesów tworzących SZ BHP. Model SZ BHP, opracowany na podstawie tej metody, w syntetyczny sposób przedstawia wiedzę o aktualnym stanie systemu i dzięki temu ułatwia analizowanie przyczyn obserwowanych problemów. Poza tym może być przedmiotem symulacji, których wynikiem będą prognozy przyszłych wartości wskaźników do pomiaru procesów. Dzięki takim prognozom kierownictwo przedsiębiorstwa mogłoby z wyprzedzeniem podejmować działania, zapobiegające pogarszaniu się procesów w systemie.

Zastosowanie metody rozmytych map kognitywnych do modelowania systemów zarządzania bhp i prognozowania zachodzących w nich zmian z pewnością wymaga prowadzenia dalszych badań, w szczególności weryfikacji modeli w praktyce. Właściwości tej metody i wyniki badań dotychczas przeprowadzonych przez autorkę [18] świadczą o tym, że jej stosowanie może przynieść istotne korzyści w obszarze zarządzania bhp.

BIBLIOGRAFIA

- [1] Fernandez-Muniz B., Montes-Peon J.M., Vazquez-Ordas C. J. *Safety management system: Development and validation of a multidimensional scale*. "Journal of Loss Prevention in the Process Industries" 2007,20:52-68
- [2] Basso B., Carpegna C., Dibitonto C., Gaido G., Robotto A., Zonato C. *Reviewing the safety management system by incident investigation and performance indicators*. "Journal of Loss Prevention in the Process Industries" 2004,17:225-231
- [3] Pawłowska Z. *Wskaźniki do oceny skuteczności zarządzania bezpieczeństwem i higieną pracy*. „Bezpieczeństwo Pracy. Nauka i Praktyka” 2012,491,8:32-34
- [4] Podgórski D. *Measuring operational performance of OSH management system – A demonstration of AHP-based selection of leading key performance indicators*. "Safety Science" 2015,73:146-166
- [5] Podgórski D., Skład A. *Komputerowe narzędzie do pomiaru efektywności operacyjnej systemów zarządzania bezpieczeństwem i higieną pracy z wykorzystaniem kluczowych wskaźników efektywności*. „Problemy Jakości” 2016, 48,4:2-8
- [6] Reiman T., Pietikainen E. *Leading indicators of system safety – monitoring and driving the organizational safety potential*. "Safety Science" 2012,50:1993-2000
- [7] Akyuz E., Celik M. *A hybrid decision-making approach to measure effectiveness of safety management system implementations on-board ships*. "Safety Science" 2014,68:169-179
- [8] Wytyczne do systemów zarządzania bezpieczeństwem i higieną pracy ILO-OSH 2001
- [9] ISO/DIS 45001.2 2017 *Occupational health and safety management systems – Requirements with guidance for use*. ISO 2017
- [10] Dworniczak P. *Zbiory rozmyte dla początkujących*. Zapis odczytu wygłoszonego na XXX Szkole Matematyki Poglądowej *Osobliwości* w styczniu 2003 roku

[11] Olszewski R., *Systemy wnioskowania rozmytego (FIS) jako narzędzie nieliniowej generalizacji numerycznego modelu terenu*. „Polski Przegląd Kartograficzny” 2006,38,4:316-325

[12] Kosko B. *Fuzzy Cognitive Maps*. "International Journal of Man-Machine Studies" 1986, 24:65-75

[13] Axelrod R. *Structure of Decision: The Cognitive Maps of Political Elites*. Princeton University Press 1976

[14] Kim M.-C., Kim C.O., Hong S.R., Kwon I.-H. *Forward-backward analysis of RFID-enabled supply chain using fuzzy cognitive map and genetic algorithm*. "Expert Systems with Applications" 2008,35:1166-1176

[15] Trappey A. J. C., Trappey C. V. and Wub C.-R. *Genetic algorithm dynamic performance evaluation for RFID reverse logistic management*. „Expert Syst. Appl.”, 2010, Vol. 37, No. 11:7329-7335

[16] Lee S., Ahn H. *Fuzzy cognitive map based on structural equation modelling for the design of controls in business-to-consumer e-commerce web-based systems*. "Expert Systems with Applications" 2009,36:10447-10460

[17] Kang I., Lee S., Choi J. *Using fuzzy cognitive map for the relationship management in airline service*. "Expert Systems with Applications" 2004,26:545-55

[18] Skład A. *Rozprawa doktorska pt. Modelowanie i prognozowanie wpływu poprawy procesów zarządczych w systemie zarządzania bhp na poziom bezpieczeństwa w przedsiębiorstwie*. Centralny Instytut Ochrony Pracy – Państwowy Instytut Badawczy, Warszawa 2017

Publikacja opracowana na podstawie wyników IV etapu programu wieloletniego „Poprawa bezpieczeństwa i warunków pracy”, finansowanego w latach 2017-2019 w zakresie zadań służb państwowych przez Ministerstwo Rodziny, Pracy i Polityki Społecznej. Koordynator programu: Centralny Instytut Ochrony Pracy – Państwowy Instytut Badawczy.



Międzynarodowe Targi Poznańskie



prawdziwe
spotkania

24-26.04.2018, POZNAŃ



SAWO

**Międzynarodowe Targi Ochrony Pracy,
Pożarnictwa i Ratownictwa**

**ZADBAJ O BEZPIECZEŃSTWO
SWOICH PRACOWNIKÓW**

LIDERZY RYNKU | PRESTIŻOWE KONFERENCJE

www.sawo.mtp.pl

**Targi
z rekomendacją**
Polskiej Izby Przemysłu Targowego

