

## **Wnioskowanie w systemach z wiedzą niepełną w przedsięwzięciach inżynierskich**

**Janusz Szelka<sup>1</sup>, Zbigniew Wrona<sup>2</sup>**

<sup>1</sup> *Wyższa Szkoła Oficerska Wojsk Lądowych we Wrocławiu, Uniwersytet Zielonogórski,  
e-mail: jszelka@wso.wroc.pl*

<sup>2</sup> *Wyższa Szkoła Zarządzania „Edukacja” we Wrocławiu, e-mail: z\_wrona@wp.pl*

**Streszczenie:** Rozwiązanie sytuacji problemowej w obszarze przedsięwzięć inżynierskich wymaga często wykorzystania metod heurystycznych. W procesie wnioskowania zazwyczaj wykorzystuje się typowe, charakteryzujące się znaczną dostępnością, narzędzia reprezentacji i przetwarzania wiedzy – regulowe systemy ekspertowe. Do istotnych ograniczeń tego typu systemów należy jednak zaliczyć możliwość wnioskowania jedynie w tych przypadkach, dla których wiedza o sytuacji problemowej jest kompletna. Warunek ten nie zawsze udaje się spełnić, a szczególnie trudne staje się to w sytuacjach kryzysowych, często nietypowych i obciążonych dodatkowymi ograniczeniami. Choć wypracowano wiele różnorodnych rozwiązań pozwalających na skuteczne wnioskowanie w warunkach niepełnej wiedzy, to dotychczasowe przypadki ich wykorzystania w procesach wnioskowania inżynierskiego należy uznać za nieliczne. Zasadną wydaje się próba oceny możliwości zastosowania tego typu rozwiązań w przedsięwzięciach inżynierskich, w kontekście specyfiki tych przedsięwzięć.

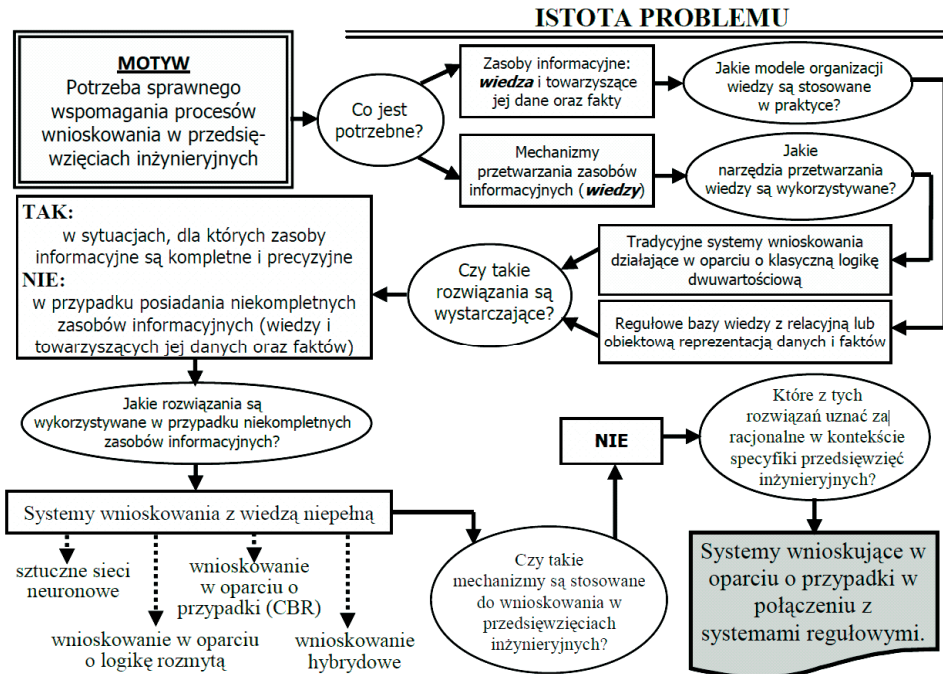
**Słowa kluczowe:** wnioskowanie w przedsięwzięciach inżynierskich, regulowe systemy wnioskowania, wnioskowanie przy niepełnej wiedzy, wnioskowanie w oparciu o przypadki, hybrydowe systemy wnioskowania inżynierskiego

### **1. Wprowadzenie**

Jakość posiadanych zasobów informacyjnych, oprócz zastosowanych mechanizmów ich przetwarzania, stanowi jeden z istotnych czynników skutecznego wspomaganie procesów decyzyjnych. W przypadku przedsięwzięć inżynierskich, dane niezbędne do ich realizacji opisują często bardzo złożone obiekty lub procesy zachodzące w badanym środowisku. Dodatkowo, niektóre sytuacje problemowe mają charakter niepowtarzalny, np. ze względu na specyficzne warunki środowiskowe, dostępność materiałów, czy sprzętu inżynierskiego, co sprawia, że do ich rozwiązania należy użyć metod heurystycznych. Sprawna realizacja procesów wnioskowania w tego typu przypadkach wymaga dostępu do pełnej, niesprzecznej i pewnej wiedzy na temat przedmiotowego zjawiska. W praktyce jednak mamy często do czynienia z niedoskonałością dostępnych zasobów informacyjnych (w tym posiadanej wiedzy), a zwłaszcza z jej niepewnością oraz niepełnością. O ile współczesne systemy zautomatyzowanego wnioskowania, wykorzystywane w przedsięwzięciach inżynierskich dość dobrze radzą sobie z niepewnością wiedzy, o tyle jej niepełność wciąż stanowi wyzwanie metodologiczne i implementacyjne.

Poczynione wyżej uwagi skłaniają do podjęcia próby oceny możliwości wykorzystania dostępnych rozwiązań w procesach wnioskowania inżynierskiego, w sytuacji niepełnej wiedzy, przy uwzględnieniu specyfiki przedsięwzięć inżynierskich.

Istotę rozpatrywanego problemu przedstawiono na rys. 1.



Rys. 1. Istota problemu

## 2. Tradycyjne systemy wnioskowania w kontekście specyfiki przedsięwzięć inżynierskich

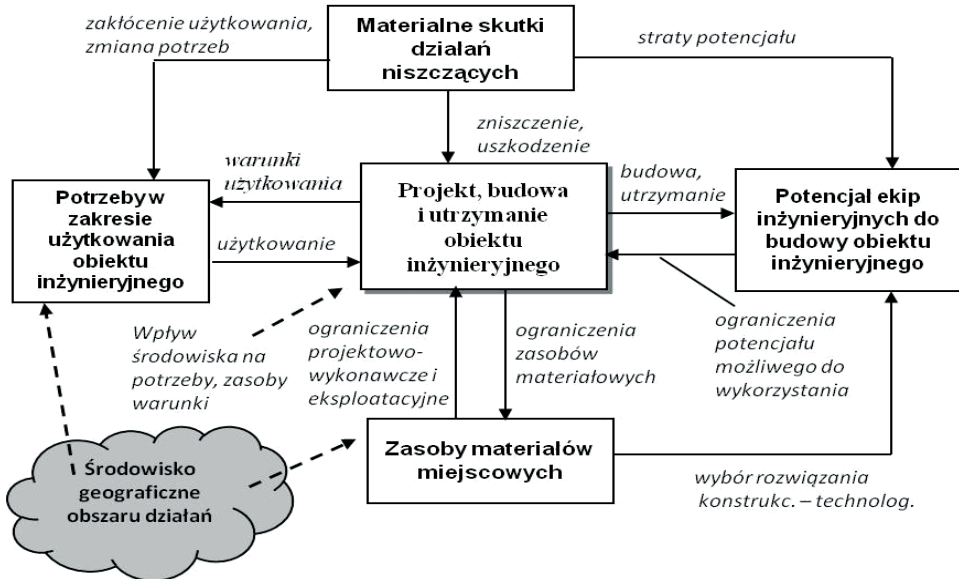
Rozwiązanie sytuacji problemowej dla znacznej części przedsięwzięć inżynierskich (np. związanych z budową/odbudową obiektów inżynierskich) powstaje jako wynik analizy różnych czynników takich, jak: potrzeby w zakresie użytkowania obiektu, zasoby materiałów lokalnych, czy wielkość dostępnych potencjałów różnych kategorii. Istotny jest w tym przypadku nie tylko wpływ każdego z czynników na obszar rozwiązań dopuszczalnych, ale także wzajemne powiązania między poszczególnymi czynnikami, z jednoczesnym uwzględnieniem wpływu środowiska geograficznego na potrzeby, zasoby i warunki działań inżynierskich (rys. 2)

Złożoność i niejednorodność problemu staje się jeszcze bardziej wyraźna w sytuacjach kryzysowych, dla których zwiększyć się może znacząco liczba ograniczeń (dostępność sprzętu, elementów konstrukcji, ograniczenia czasowe), wytyczających zbiór rozwiązań dopuszczalnych.

Uwzględniając powyższe uwagi można uznać, iż w przypadku sytuacji problemowych w obszarze przedsięwzięć inżynierskich mamy do czynienia:

- z procesami niejednokrotnie niepowtarzalnymi;
- ze znaczną różnorodnością materiałów, sprzętu i zespołów roboczych;
- z wpływem warunków zewnętrznych (otoczenia).

Stopień rozpoznania tych czynników oraz poziom losowości analizowanych zjawisk określają w konsekwencji charakter sytuacji problemowej, przed jaką staje decydent (inżynier).



Rys. 2. Elementy opisu sytuacji problemowej w obszarze budowy/odbudowy obiektu inżynierskiego

Należy zauważyć, że w takich warunkach dokonanie modelowania sytuacji problemowej z wykorzystaniem jednolitego modelu matematycznego staje się niezwykle trudne, a często wręcz niemożliwe. Prowadzi to do spostrzeżenia, że do rozwiązania wielu kategorii problemów decyzyjnych, występujących w obszarze przedsięwzięć inżynierskich, należy wykorzystać metody przeszukiwania heurystycznego.

Powyższa uwaga, przy jednoczesnej konieczności uwzględniania, sygnalizowanej wyżej, znacznej złożoności sytuacji problemowej, wymusza stosowanie technologii informatycznych do wspomaganie działań w tym zakresie. Rozwiązaniem z powodzeniem stosowanym w praktyce wspomaganie decyzji inżynierskich są systemy ekspertowe. Pozwalają one na automatyzowanie procesu rozwiązywania problemów na poziomie wysokiej klasy eksperta poprzez wypracowanie konkluzji w oparciu o znane przesłanki.

Wiedza wykorzystywana w tego typu systemach, np. w przedsięwzięciach odbudowy obiektów inżynierskich, stanowi specyficzne odwzorowanie faktów, zjawisk, stanów obiektów i relacji między nimi. Najczęściej wykorzystywanym mechanizmem reprezentacji wiedzy są reguły decyzyjne, umożliwiające formalne ujęcie zależności: *przesłanki* → *konkluzja*, w postaci konstrukcji *if...then...* Przykładowy zapis reguł oraz faktów, stanowiących elementy bazy wiedzy dla problemu projektowania i budowy przepraw mostowych pokazano poniżej:

#### rules

```
sposób odbudowy mostu="prześla_BLG_z_dodatkową_podporą_drewnianą" if
długość_prześla_m>=20, długość_mostu_m<=38, obciążenie_prześla<=400 kN,
blg=="tak", drewno=="tak", wysokość_podpory_m<3, rodzaj_prześla="podwójne"
```

....

end;

Implementacja faktów jest często realizowana w postaci uporządkowanej trójki: *obiekt-atrybut-wartość*. Przykładowy zapis faktów może przyjąć postać:

**facts**

przewyższenie\_brzegów = 1,50 m;  
szerokość\_przeszkody\_wodnej = 32 m;

.....

**end;**

Jeśli do realizacji procesu wnioskowania niezbędne są fakty, które na danym etapie wnioskowania są nieznane a których system nie jest w stanie odnaleźć w bazie faktów (ani w bazie danych), następuje próba ich uzupełnienia poprzez proces konsultacji, w ramach którego ich wartości są określane przez użytkownika.

Należy zauważyć, że wiedza pozyskiwana od ekspertów, w tym także w obszarze przedsięwzięć inżynierskich, w niektórych przypadkach może być wiedzą niedoskonałą (np. niepewną lub/i niepełną). W praktyce inżynierskiej, wobec trudności w uwzględnianiu niepełności oraz niepewności wiedzy, często świadomie stosuje się podejście deterministyczne, co znacząco upraszcza zarówno model reprezentacji wiedzy, jak i mechanizmy procesu wnioskowania.

Stosowane w praktyce systemy wnioskujące w oparciu o wiedzę ekspertów (w tym również tzw. szkieletowe systemy ekspertowe) w stosunkowo prosty sposób można zaopatrzyć w mechanizmy pozwalające uwzględniać niepewność zasobów informacyjnych. Skutecznym rozwiązaniem może być np. zastosowanie współczynnika pewności (CF – *ang. Certainty Factor*), będącego miarą przekonania eksperta, co do słuszności konkluzji wywiedzionej z danych przesłanek.

Znacznie większy problem napotykamy w przypadku niepełności posiadanej wiedzy. Nieznane wartości atrybutów, brak możliwości ustalenia wartości faktów (np. w procesie konsultacji), czy brak reguł, opisujących nietypowe sytuacje sprawia, że proces wnioskowania może osiągnąć stan tzw. impasu, w którym system nie jest w stanie uaktywnić żadnej kolejnej reguły (wartości zmiennych występujących w przesłankach tych reguł nie są znane), co oznacza w konsekwencji brak możliwości wypracowania końcowej konkluzji.

### 3. Możliwości wnioskowania przy posiadaniu wiedzy niepełnej

Niekompletność wiedzy zarówno pozyskiwanej z otoczenia (np. z aparatury pomiarowej), jak i pochodzącej od eksperta nie musi oznaczać braku możliwości wypracowania rozwiązania sytuacji problemowej. Niezbędne jednak staje się poszukiwanie rozwiązań zarówno metodologicznych, jak i technicznych, pozwalających na realizację procesu wnioskowania w takich warunkach.

Spśród różnorodnych mechanizmów, umożliwiających wnioskowanie w przypadku niepełnej wiedzy, do najczęściej stosowanych można zaliczyć:

- wnioskowanie przybliżone;
- teorię zbiorów rozmytych;
- sztuczne sieci neuronowe;
- wnioskowanie na podstawie przypadków
- rozwiązania hybrydowe, stanowiące połączenie różnorodnych metod, np. wnioskowania na podstawie przypadków ze sztucznymi sieciami neuronowymi.

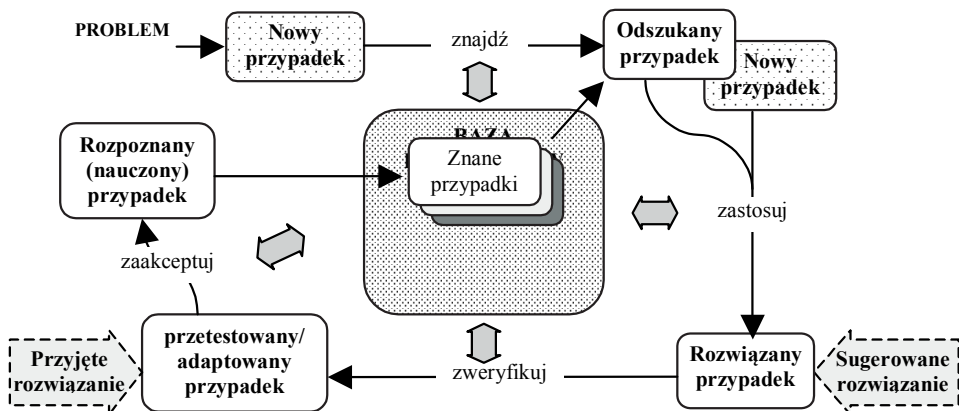
Wnioskowanie przybliżone wykorzystuje się np. w systemach regułowych, w których na podstawie określonego przez eksperta lub wygenerowanego w oparciu o dane zbioru reguł, konstruowane są różne rodzaje sieci Petriego (logiczne, rozmyte, przybliżone), zależnie od wybranej metody konstrukcji modelu sieciowego. Opracowana sieć jest następnie traktowana, jako model matematyczny procesu wnioskowania przybliżonego,

opisywanego przez zadany zbiór reguł [1]. Rozwiązania tego typu należy uznać za skomplikowane i trudne w implementacji.

Istotę wykorzystania logiki rozmytej w procesie wnioskowania w systemach z regułową bazą wiedzy opisano w [2]. Obszar zastosowań rozmytych baz wiedzy ogranicza się głównie do wnioskowania w sytuacjach nieprecyzyjności posiadanej wiedzy.

Możliwość wykorzystywania danych rozmytych, nieprecyzyjnych występuje także w przypadku sztucznych sieci neuronowych (SSN). Zdolność do uczenia się SSN na przykładzie zbioru przykładów uczących umożliwia rozpoznawanie przypadków podobnych do wyuczonych i dokonywania w oparciu o nie trafnego wnioskowania. Do ograniczeń tych technologii, a dość istotnych w przypadku przedsięwzięć inżynierskich, można zaliczyć brak możliwości realizacji wnioskowania wieloetapowego.

Interesujące, w odniesieniu do problemu niepełności wiedzy, wydają się prace nad wykorzystaniem metody wnioskowania w oparciu o przypadki (CBR – ang. *Case Based Reasoning*). CBR jest metodą rozwiązywania problemów opartą na poszukiwaniu analogii (podobieństwa) pomiędzy rozpatrywaną sytuacją, a przypadkami, które zaistniały wcześniej i zostały odpowiednio opisane. Realizacja procesu wnioskowania z wykorzystaniem tej metody wymaga zastosowania mechanizmów efektywnego przeszukiwania baz danych oraz wyznaczania podobieństwa pomiędzy aktualną sytuacją problemową, a składowanymi w bazie przypadkami (rys. 3).



Rys. 3. Istota funkcjonowania metody CBR [3]

W oparciu o wprowadzone przez użytkownika parametry opisujące zaistniałą sytuację problemową oraz ich współczynniki wagowe, system dokonuje wyodrębnienia danych, potrzebnych do wyznaczenia podobieństwa pomiędzy przypadkami. W kolejnym kroku następuje wyszukiwanie najbardziej zbliżonych przypadków w bazie przypadków (ang. *Case Base*). Można stosować w tym celu np. różne funkcje podobieństwa (m. in. funkcję prostokątną, trapezową, czy symetryczne podobieństwo z dolną granicą) [4]. Odszukane przypadki są sortowane w oparciu o uzyskany poziom podobieństwa a następnie wybierany jest (przez algorytm lub z udziałem użytkownika) przypadek najbardziej zbliżony do rozpatrywanego. W kolejnym kroku następuje weryfikacja i przystosowanie (dopasowanie) pozyskanego rozwiązania do analizowanej sytuacji. Ostatnim etapem tego cyklu jest proces uczenia, czyli zapisanie nowego przypadku wraz z jego rozwiązaniem w bazie przypadków.

Wypracowane rozwiązanie jest opisywane i zapisywane w bazie przypadków w momencie, kiedy wiedza na temat tego rozwiązania jest najpełniejsza (np. w momencie ukończenia procesu budowy mostu tymczasowego).

#### 4. Systemy wnioskowania oparte o wiedzę niepełną w przedsięwzięciach inżynierskich

Problem niepełności wiedzy w procesach wnioskowania inżynierskiego należy rozpatrywać w kontekście opisanej wyżej specyfiki przedsięwzięć inżynierskich. Nietypowe warunki realizacji działań (np. klęska powodzi) mogą sprawić, że zmiana wartości nawet jednego parametru opisu sytuacji problemowej (w stosunku do sytuacji wcześniej notowanych) spowoduje zmianę zbioru rozwiązań dopuszczalnych. Naturalnym działaniem w takich przypadkach (zbliżonym do stosowanego przez rzeczywistego eksperta) może być próba analizy sytuacji podobnych do zaistniałej i wybór rozwiązania zastosowanego w przeszłości dla najbardziej zbliżonego przypadku (po jego ewentualnej korekcie). Spośród wskazanych w poprzednim punkcie niniejszego opracowania mechanizmów, tylko SSN oraz CBR umożliwiają realizację procesu wnioskowania w taki właśnie sposób. Uwzględniając jednak ograniczenia SSN, szczególną uwagę w przypadku wnioskowania inżynierskiego należałoby zwrócić na metodę wnioskowania przez przypadki. Do istotnych czynników determinujących jakość procesu wnioskowania przy życiu metody CBR należy zawartość bazy przypadków, w której przechowywane są zestawy parametrów opisujących zapamiętane sytuacje. Przykładowo, jeśli sytuacja problemowa dotyczy planowania przepraw, to w opisie przypadków należałoby uwzględnić m.in.:

- W zakresie założeń sytuacyjnych: pora roku (zima, lato), pora dnia (dzień, noc), warunki pogodowe.
- Dane dotyczące przeszkody wodnej: szerokość, głębokość, prędkość prądu wody, grunt dna i brzegów, profil przeszkody wodnej i brzegów.
- W zakresie sprzętu: typ sprzętu będący w dyspozycji wykonawcy, ilość kompletów sprzętu w dyspozycji, % sprawności.
- Sytuacja operacyjno-eksploatacyjna: odległość od miejsca przeprawy (budowy), czas przygotowania brzegów do rozpoczęcia przeprawy, prognozowane straty w sprzęcie przeprawowym.
- Określenie zadania: zadany rodzaj przeprawy (promowa, mostowa, kombinowana), zadana nośność układu konstrukcyjnego, kalkulacja czasu manewru sprzętem przeprawowo-mostowym.

Natomiast, wśród oczekiwanych konkluzji można wymienić:

- typ użytego sprzętu;
- rodzaj przeprawy (mostowa, promowa, kombinowana);
- rodzaj i długość układu konstrukcyjnego przeprawy;
- nośność dla pojazdów kołowych i gąsienicowych;
- czas realizacji przeprawy.

Baza przypadków może być zaimplementowana przy użyciu takich technik np.: CRN (ang. *Case Retrieval Net*), hurtownie danych, czy relacyjne bazy danych [3]. Wydaje się, że najodpowiedniejszym rozwiązaniem w przypadku wspomaganie wnioskowania inżynierskiego są relacyjne bazy danych, często wykorzystywane również w procesach wnioskowania opartego o reguły.

Do porównywania przypadków można zaproponować np. funkcję podobieństwa [4], która zostaje wyznaczona, jako średnia ważona poszczególnych atrybutów opisujących porównywane przypadki (1).

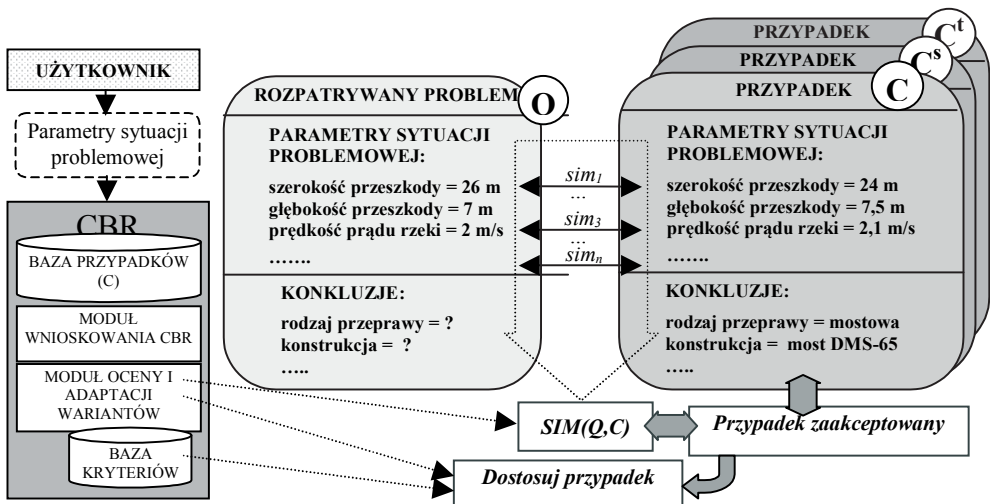
$$sim(Q, C) = \frac{\sum_{i=1}^n w_i sim_i(Q_i, C_i)}{n} \quad (1)$$

gdzie:  $Q$  – rozpatrywany przypadek,  $C$  – przypadek zapamiętany w bazie przypadków,  $sim(Q, C)$  – globalne podobieństwo pomiędzy przypadkami,  $n$  – liczba porównywanych atrybutów,  $w_i$  – waga  $i$ -tego atrybutu,  $sim_i$  – wartość podobieństwa  $i$ -tego atrybutu.

Wartości podobieństw poszczególnych atrybutów można natomiast wyznaczać przy użyciu jednej z wymienionych w poprzednim punkcie funkcji podobieństw.

Przykładowy cykl działań dla problemu planowania przepraw, realizowanych w oparciu o system CBR można zestawić następująco (rys. 4):

1. Sytuacja problemowa jest parametryzowana przez zbiór atrybutów (w tym, m. in.: szerokość, głębokość, prędkość prądu wody, itd.).
2. Następuje przeszukiwanie bazy przypadków w celu ustalenia najbardziej podobnego przypadku – pomiędzy przypadkiem rozpatrywanym ( $Q$ ) a kolejnym zapisanym w bazie ( $C$ ) wyznaczane jest podobieństwo poszczególnych parametrów ( $sim_i$ ) a następnie podobieństwo globalne  $sim(Q, C)$ .
3. Konkluzje wyspecyfikowane dla odszukanego przypadku są poddawane analizie i następuje ewentualna modyfikacja (adaptacja) rozwiązania do warunków bieżącej sytuacji problemowej (jeśli nie można zastosować go bezpośrednio).
4. W bazie przypadków zapisywane są parametry rozpatrywanej sytuacji problemowej wraz z wypracowanymi konkluzjami, jako nowy przypadek.



Rys. 4. Istota wypracowania rozwiązania w systemie CBR dla przedsięwzięcia planowania przepraw

Specyfika przedsięwzięć inżynierskich skłania do rozważenia możliwości wykorzystania w procesach zautomatyzowanego wnioskowania rozwiązań hybrydowych, obejmujących systemy wnioskowania regułowego oraz systemy CBR. Wiedza o przypadkach typowych może być wówczas zapamiętywana w postaci reguł, natomiast wiedzę o wyjątkach korzystniej jest zapamiętywać w postaci wzorców, w bazie przypadków.

Rozwiązanie hybrydowe umożliwia stosowanie różnych wariantów wnioskowania, preferujących określoną kolejność stosowanego dopasowania (w oparciu o reguły lub wzorce). Wydaje się, że w przypadku problemów inżynierskich, najkorzystniejszym

wariantem jest wykorzystanie w pierwszej kolejności bazy reguł a dopiero, w przypadku stwierdzenia braku możliwości realizacji procesu wnioskowania ze względu na niepełność wiedzy, aktywowanie mechanizmu wnioskowania w oparciu o wyjątki. Takie podejście zapewnia całkowitą zgodność konkluzji z parametrami wejściowymi a nie tylko zaadoptowanie rozwiązania dla podobnego problemu. Jednak w sytuacjach specyficznych, niewyspecyfikowanych w bazie wiedzy, wnioskowanie przejęte przez moduł CBR, pozwala uzyskać rozwiązanie dobrze dopasowane do sytuacji problemowej.

## 5. Podsumowanie

Rozwiązanie sytuacji problemowych w obszarze przedsięwzięć inżynierskich, ze względu na ich złożoność i niejednorodność, często jest wypracowywane w wyniku przeszukiwania heurystycznego. Do najważniejszych rozwiązań informatycznego wspomaganie tych procesów należy zaliczyć systemy ekspertowe z regułową reprezentacją wiedzy. Specyfika tych systemów uniemożliwia jednak realizację procesu wnioskowania przy niekompletnej wiedzy, co stało się przesłanką do podjęcia prac nad rozwiązaniami umożliwiającymi wnioskowanie w oparciu o wiedzę niepełną. Dotychczasowe próby zastosowania tego typu mechanizmów w obszarze przedsięwzięć inżynierskich, obejmujące np. sztuczne sieci neuronowe, należy uznać za nieliczne. Spośród dostępnych rozwiązań umożliwiających wnioskowanie przy niepełnej wiedzy, szczególną uwagę warto zwrócić na metodę wnioskowania w oparciu o przypadki (CBR). Pozwala ona realizować wnioskowanie na podstawie podobnych do rozpatrywanej sytuacji problemowych, rozwiązywanych w przeszłości, zawartych w bazie przypadków. Należy uwzględnić jednak, że zjawisko niepełności wiedzy nie dotyczy wszystkich (czy większości) sytuacji problemowych w obszarze przedsięwzięć inżynierskich, a raczej problemów specyficznych, wyjątkowych, związanych np. z sytuacją kryzysową. Nie wydaje się zatem celowe poszukiwanie rozwiązania zastępującego systemy regułowe, a raczej będącego w stanie przejąć zadanie wypracowania konkluzji jedynie dla sytuacji wyjątkowych, nie opisanych w bazie wiedzy. Do takich rozwiązań można zaliczyć systemy wnioskowania w oparciu o przypadki. Próba powiązania technologii CBR z technologiami wnioskowania regułowego może dać pożądaną efekt komplementarnego uzupełniania się obu rozwiązań.

## Literatura

- 1 Fryc, B.: Modelowanie wnioskowania w systemach z niepełną informacją, Konferencja dla Kierowników Grantów MNiSW, 13-15 grudnia 2007, Zakopane, Biuletyn Informacyjny MNiSW, Nr 23, Gliwice 29 listopada 2007, s. 33-34.
- 2 Szelka J., Wrona Z., Wykorzystanie rozmytych baz danych i baz wiedzy do wspomaganie przedsięwzięć inżynierskich. 59 Konferencja Nauk. KILiW PAN i KN PZITB, Krynica 2013.
- 3 Myszkorowski K., Ociepka P., Świder J.: Zastosowanie metody CBR do wspomaganie procesu projektowania maszyn. „Modelowanie Inżynierskie” 2009, Tom 6, Nr 37, Gliwice, s. 217 – 224.
- 4 Cortes U. et. al.: Deliverable 4.1. Report on current reasoning engine practice and integration strategies. W: RIMSAT 2003



## **Inference processes in incomplete knowledge systems in engineering projects**

**Janusz Szelka<sup>1</sup>, Zbigniew Wrona<sup>2</sup>**

<sup>1</sup> *Military Academy of Land Forces in Wrocław, University of Zielona Góra: jszelka@wso.wroc.pl*

<sup>2</sup> *College of Management "Edukacja" in Wrocław: z\_wrona@wp.pl*

**Abstract:** A substantial number of engineering problems can be qualified as heuristic ones. Inference processes, allowing for their solution, are most frequently performed with rule-based expert systems. Such systems, however, are significantly limited by their possibility of inference only if complete knowledge is possessed, which is not always the case in practice (in particular in crisis situations). It is then indispensable to employ other methods and tools. Given the specificity of engineering projects, it seems that case-based reasoning (CBR) is an appropriate solution in this respect. In conjunction with rule-based inference mechanisms, it may constitute a complementary solution, allowing for efficient inference in problem situations in which the level of knowledge completeness varies.

**Keywords:** inference in engineering projects, rule-based inference systems, inference with incomplete knowledge, case-based reasoning, hybrid engineering inference systems

