

Andrzej TUCHOŁKA<sup>1\*</sup>  
Maciej MAJEWSKI<sup>1</sup>  
Wojciech KACALAK<sup>1</sup>

## **ZORIENTOWANY OBIEKTOWO, SYMBOLICZNY ZAPIS CECH, RELACJI I STRUKTUR KONSTRUKCYJNYCH**

Autorzy przedstawiają metodę opisu konstrukcji, pozwalającą na przetwarzanie konstrukcji z użyciem metod numerycznych, inteligentnych procedur analitycznych i optymalizacyjnych. Proponowana struktura zapisu umożliwia zwięzłą, symboliczną reprezentację konstrukcji. Autorzy przedstawiają metody analizy i reprezentacji cech konstrukcji, relacji występujących pomiędzy elementami opisywanego obiektu, oraz strukturami definiującymi konstrukcję. Dodatkowo, przedstawiono procedurę tłumaczenia opisu konstrukcji z rysunku technicznego oraz opisu słownego. Przedstawiono również metodę formatowania proponowanego zapisu w formacie KXML.

### **1. WPROWADZENIE**

Stworzony zapis symboliczny [1], został zaprojektowany ze szczególnym uwzględnieniem obiektowych cech elementów reprezentujących zarówno cechy konstrukcyjne, jak i elementy strukturalne definiujące konstrukcję. Aby umożliwić wykorzystanie algorytmów, pozwalających na jak najszerszą analizę struktury konstrukcji, typy relacji pomiędzy węzłami symbolicznego zapisu pozwalają na utworzenie grafu (zamiast bardziej tradycyjnej, hierarchicznej struktury zapisu). Tego typu relacje, w zapisie KXML, pozwalają na opis zależności występującymi pomiędzy węzłami tej samej struktury, jednak znajdującymi się w różnych hierarchiach dekompozycji struktury konstrukcji. Dążono również do zwiększenia zwięzłości oraz uniwersalności zapisu poprzez: np. minimalizację ilości utworzonych elementów składni czy zdefiniowania słów kluczowych jako charakterystycznych skrótów słów w języku angielskim.

Innym kluczowym celem stawianym opisywanemu systemowi zapisu, jest umożliwienie spójnej reprezentacji danych niekompletnie opisujących konstrukcję. Cel ten został wyznaczony, aby umożliwić wykorzystanie metod numerycznych zaprojektowanych do pracy z niekompletnymi danymi, czy też pozwalających na wnioskowanie w warunkach dużej niepewności danych.

---

<sup>1</sup> Politechnika Koszalińska, Wydział Mechaniczny, Koszalin

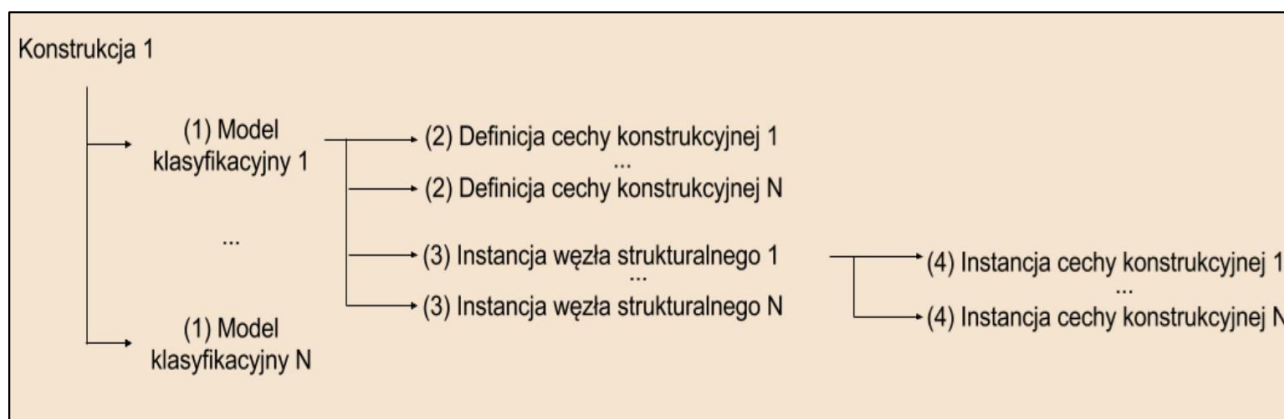
\* E-mail: andrzej.tucholka@gmail.com

Istniejące informatyczne formaty reprezentacji danych (np. formaty narzędzi typu CAD, czy ISO 10303), często są przeznaczone do przetwarzania danych projektowych w kontekście ich wizualizacji [7],[9] lub konkretnych procesów produkcyjnych [5]. Oba z tych zastosowań wymagają i w pewnym sensie preferują ich dokładną i precyzyjną definicję. Obecne formaty przetwarzania danych konstrukcyjnych zawierają również głęboką integrację z konkretnymi rozwiązaniami informatycznymi [4],[6]. Uwidacznia się to bezpośrednio w poziomie czytelności tych zapisów (czasami jej braku) i znacznej ilości elementów niereprezentujących wartości poznawczej. W efekcie oddają one jedynie w niewielkim stopniu obiektowy charakter projektowanego elementu i relacji pomiędzy jego dyskretnymi częściami, co znacznie utrudnia ich automatyczną analizę, czy stosowanie z algorytmami uczącymi się [2].

Stworzenie obiektowego zapisu ułatwia przetwarzanie danych poprzez połączenie abstrakcji konstrukcyjnych i leksykalnych (np. cecha) z elementami obiektowego zapisu danych w systemach informatycznych [3],[8]. Oparcie formatu zapisu na obiektowym paradygmacie programistycznym ułatwia naukowe wykorzystanie metod numerycznych (np. sieci Hamminga, sieci konwolucyjnych, map Kohonena) na złożonych danych, bezpośrednio reprezentujących słowne przedstawienie konstrukcji. W efekcie, upraszczany również jest proces komunikacji operatora z maszyną. Wynika to z utworzenia bezpośrednio dostępnej dla systemu informatycznego abstrakcji, która jest również naturalna dla graficznej czy leksykalnej reprezentacji konstrukcji.

## 2. STRUKTURA SYMBOLICZNEGO OPISU KONSTRUKCJI

Symboliczny charakter opisywanego zapisu wynika z dwóch czynników: uniwersalnego charakteru podstawowej struktury zapisu oraz z abstrakcyjnej definicji elementów opisujących konstrukcję. Cechuje się on niewielką ilością elementów strukturalnych zapisu, oraz szerokimi możliwościami budowania relacji strukturalnych. Definiowane w zapisie struktury są bezpośrednim odwzorowaniem informacji używanych przez ludzi do słownego (czy graficznego) opisu konstrukcji.



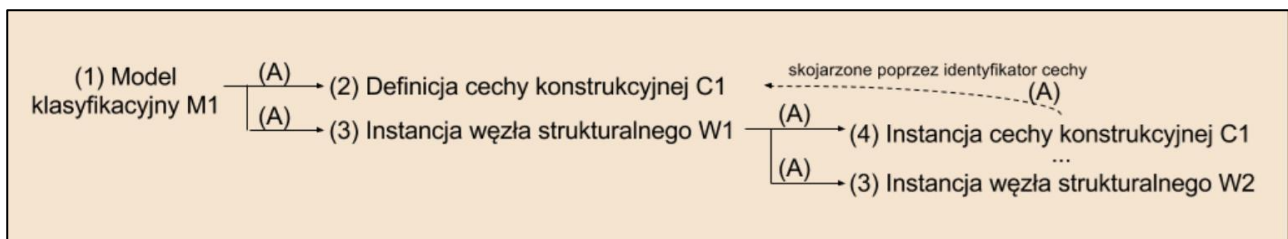
Rys. 1. Podstawowa, symboliczna struktura zapisu  
Fig. 1. Base, symbolic structure of the notation

Zapis danych opisujących konstrukcję oparty jest na czterech głównych elementach (rys. 1):

1. modelu klasyfikacyjnym - dostarczającym kontekst analizy i interpretacji zapisanych w jego ramach cech i węzłów strukturalnych;
2. definicji cechy konstrukcyjnej - dostarczającej informacji systematyzujących dane używane do opisanie i obliczania właściwości danej konstrukcji;
3. instancji węzła strukturalnego oraz powiązań węzłów - pozwalających na zapis danych opisujących konstrukcję bezpośrednio w strukturze węzłów, oraz wskazanie jawnych, strukturalnych relacji pomiędzy wartościami cech konstrukcyjnych;
4. instancji cechy konstrukcyjnej - definiującej wartość (lub funkcję obliczającą) cechy konstrukcyjnej w kontekście konkretnego modelu klasyfikacyjnego oraz konkretnego węzła strukturalnego.

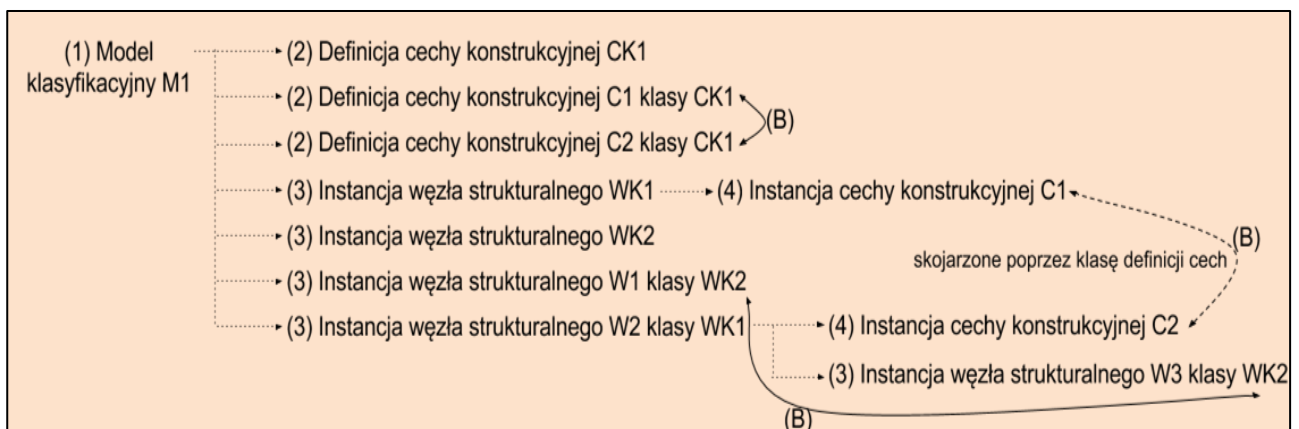
Oprócz relacji wynikających ze struktury zapisu, opisywany system pozwala na reprezentację dodatkowych klas zależności, w sumie pozwalając na reprezentację:

- A. - relacji pomiędzy fundamentalnymi elementami konstrukcji, poprzez strukturę modeli, węzłów, definicji i instancji cech konstrukcyjnych (rys. 2);



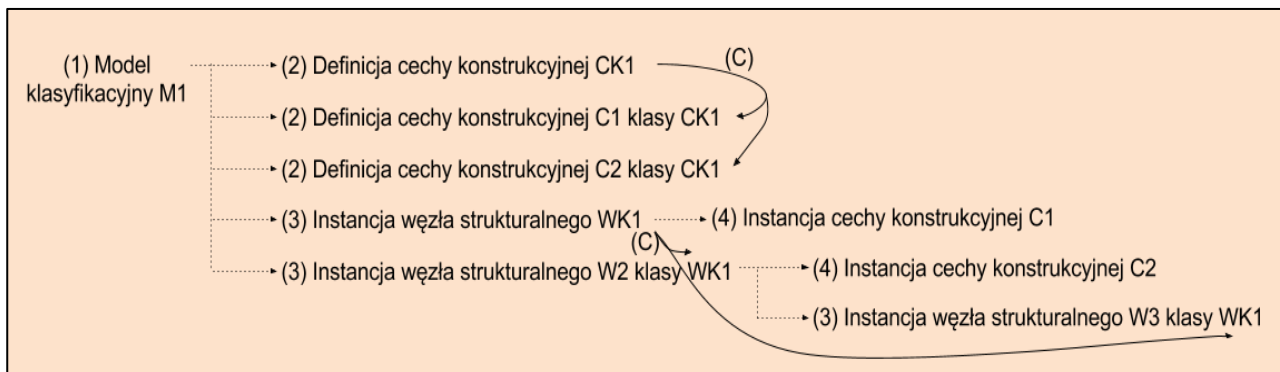
Rys. 2. Relacje typu A  
Fig. 2. Type A relations

- B. - definicji klasy elementów zapisu (zarówno cech, węzłów i struktur węzłów), tworząc relację pozwalającą na usystematyzowaną interpretację wartości elementów tej samej klasy (rys. 3);



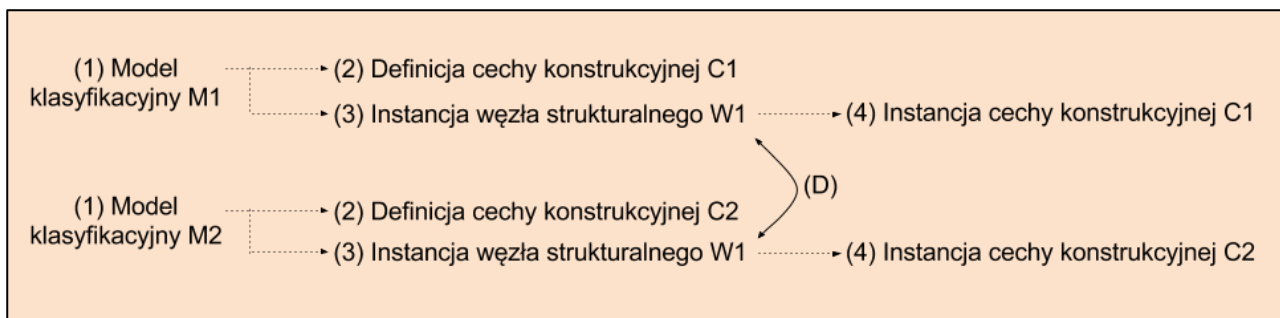
Rys. 3. Relacje typu B  
Fig. 3. Type B relations

- C. - mechanizm dziedziczenia (zarówno cech, węzłów i ich struktur) pozwalający na spójną analizę elementów zapisu w kontekście drzewa reprezentującego ich pochodzenie i współdzielony zakres danych poddawanych analizie (rys. 4);



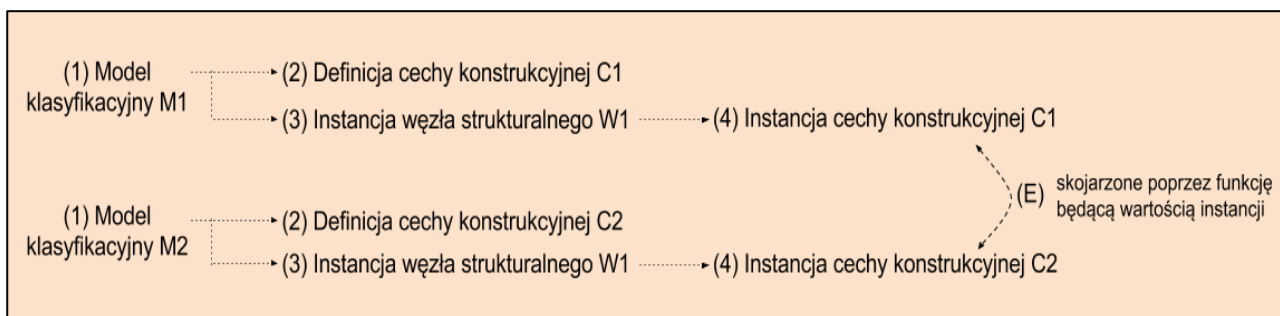
Rys. 4. Relacje typu C  
Fig. 4. Type C relations

- D. - relacje pomiędzy cechami konstrukcyjnymi różnych modeli klasyfikacyjnych, poprzez mechanizm tożsamości węzłów (rys. 5);



Rys. 5. Relacje typu D  
Fig. 5. Type A relations

- E. - niejawne relacje obliczeniowe zawarte w funkcjach matematycznych poprzez odniesienia do elementów struktury zapisu (rys. 6).



Rys. 6. Relacje typu E  
Fig. 6. Type E relations

### 3. SKŁADNIA LEKSYKALNA

Domyślnie, dla notacji XML przyjmuje się kodowanie znaków UTF-8 lub UTF-16, które pozwalają na użycie polskich znaków diakrytycznych (lub innych, popularnych języków). Wszystkie parsery XML muszą prawidłowo obsługiwać te formaty zapisu znaków [10], a użycie tzw. XML prolog'a jest wymagane jedynie w przypadku zmiany na mniej popularny format kodowania znaków. Każde ze słów kluczowych użytych w języku KXML będącego implementacją symbolicznej notacji w ramach języka XML [11], może być interpretowane zarówno strukturalnie jak i w określonej funkcji:

- **STRUCT** - element języka KXML dostarczający całościowy i jednostkowy kontener dla struktury; zawarcie wielu elementów STRUCT w jednym pliku KXML jest dopuszczalne i wspierane dla łatwości i elastyczności w tworzeniu kolekcji struktur;
  - **class** - opcjonalny atrybut wiążący opisywaną strukturę z konkretną i jednoznacznie zidentyfikowaną klasą struktur.
  - **id** - opcjonalny atrybut wskazujący symboliczny identyfikator struktury; aby uniknąć dwuznaczności, wymagane jest utrzymanie unikalności identyfikatorów co najmniej w ramach pliku KXML;
- **MODEL** - element języka używany do wskazania wybranego modelu, który jest użyty do opisu i analizy struktury opisanej wewnątrz tego elementu;
  - **class** - wymagany atrybut pozwalający na wybór modelu interpretacji danych wewnątrz elementu;
  - **id** - opcjonalny atrybut pozwalający na odnoszenie się do węzłów struktury w zakresie ograniczonym jedynie do wskazanego modelu, w odróżnieniu od domyślnego odniesienia się do całości opisu struktury, który może zawierać wiele modeli;
- **FEATURE** - element języka dostarczający definicję mierzalnej cechy struktury oraz opcjonalnie jej konkretne wartości w każdym z przypadków wystąpienia danej cechy w strukturze;
  - **id** - wymagany atrybut pozwalający na identyfikację cechy konstrukcji, na potrzeby interpretacji odniesień oraz definicji szablonów (opisane poniżej);
  - **class** - opcjonalny atrybut umożliwiający powiązanie cech ze sobą (poprzez dziedziczenie); może być to użyte na potrzeby wprowadzania wspólnych (dla wybranych cech) warstw dostarczających dodatkowych możliwości porównań niejawnych relacji występujących pomiędzy cechami zdefiniowanymi w modelu;
  - **unit** - atrybut jedynie elementów FEATURE, który musi być podany, w co najmniej jednym z elementów tego typu o jednakowej wartości pola 'id'; zawiera on jednostkę, w której mierzona jest wybrana cecha; możliwe jest tutaj wykorzystanie automatycznych przeliczników pomiędzy wartościami podanymi w różnych rzędach wielkości (np. milimetry automatycznie przeliczone na metry);
  - **vector** - opcjonalny atrybut używany dla cech konstrukcyjnych o przypisanym do nich wektorze;

- value - opcjonalna wartość elementu zawierająca konkretną liczbę lub wyrażenie matematyczne ją wyznaczające; reprezentuje ona wartość cechy mierzoną w jednostce wartości zdefiniowanej na poziomie ogólnym lub w tej konkretnej instancji cechy;
- NODE - główny element definiujący strukturę zapisu konstrukcji KXML pozwalający na stworzenie opisu poprzez jawną hierarchizację elementów w ramach jednego modelu, umożliwiającą zróżnicowanie typów relacji występujących pomiędzy węzłami oraz wskazanie ukrytych relacji występujących w modelu;
  - id - opcjonalny atrybut umożliwiający odniesienia do węzłów strukturalnych, wartości cech konstrukcji oraz tworzenia szablonów struktur;
  - class - wymagany atrybut definiujący sposób interpretacji węzła lub relacje pomiędzy nimi.

Możliwość użycia cechy w zapisie konstrukcji, wynika z jej identyfikacji formalną metodą naukową, zazwyczaj w ramach wybranego modelu klasyfikacji i jego własności. Należy nadmienić, że możliwa i oczekiwana jest duplikacja zakresów cech zdefiniowanych w różnych modelach, oraz że ich definicja (typ) może być różna. Oznacza to, że końcowa struktura jest kombinacją wszystkich drzew węzłów zdefiniowanych w modelach klasyfikacji konstrukcji, które w połączeniu tworzą graf, opisujący konstrukcję.

Zaproponowany zapis reprezentacji struktur jest oparty na zastawieniu opisów opartych na referencyjnych modelach klasyfikacyjnych. W ramach każdego z tych modeli tworzone jest drzewo węzłów definiujących cechy i zależności strukturalne opisywanego elementu. Kluczowe elementy notacji użyte do zdefiniowania i zapisu przykładowej konstrukcji zamieszczono w tabeli 1 i tabeli 2.

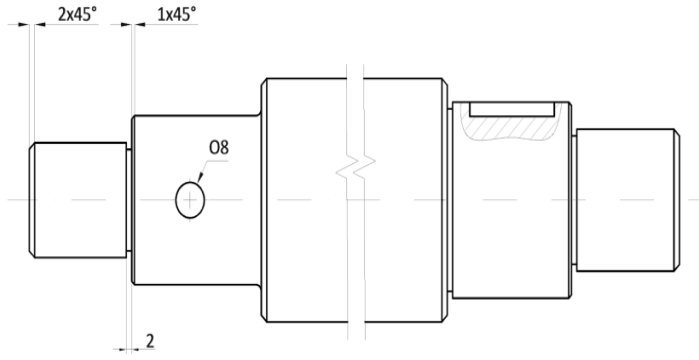
Tabela 1. Kluczowe elementy notacji użyte do zdefiniowania przykładowej konstrukcji  
Table 1. Key elements of the notation used to describe an example construction

OPIS TEKSTOWY	ZORIENTOWANY OBIEKTOWO, SYMBOLICZNY ZAPIS
definicja obiektu: wał o identyfikatorze s001	<code>&lt;struct class="wał" id="s001"&gt;&lt;/struct&gt;</code>
model mechaniczny (do opisu struktur)	<code>&lt;model class="mechaniczny"&gt;&lt;/model&gt;</code>
zdefiniuj cechy jako: l w milimetrach, R w milimetrach, d w milimetrach oraz kąt alfa w stopniach na pionowej osi w trójwymiarowej przestrzeni,	<code>&lt;feature id="l" unit="mm" /&gt; &lt;feature id="R" unit="mm" /&gt; &lt;feature id="d" unit="mm" /&gt; &lt;feature id="alfa" unit="deg" vector="(0,1,0)" /&gt;</code>
zdefiniuj stopień wału o identyfikatorze p001, o wymiarach: l równe 48, d równe 35; zawierający: frez o wymiarach l równe 12 i kącie wynoszącym 45; gwint o wymiarach: l równe 24; oraz podcięciem o wymiarach R i d równych 8.	<code>&lt;node class="stopien" id="p001"&gt; &lt;feature id="l"&gt;48&lt;/feature&gt; &lt;feature id="d"&gt;35&lt;/feature&gt; &lt;node class="frez"&gt; &lt;feature id="l"&gt;12&lt;/feature&gt; &lt;feature id="alfa"&gt;45&lt;/feature&gt; &lt;/node&gt; &lt;node class="gwint"&gt; &lt;feature id="l"&gt;24&lt;/feature&gt; &lt;/node&gt; &lt;node class="podcięcie"&gt; &lt;feature id="R"&gt;8&lt;/feature&gt; &lt;feature id="d"&gt;8&lt;/feature&gt; &lt;/node&gt; &lt;/node&gt;</code>

Aby umożliwić użycie biblioteki z wcześniej zdefiniowanymi strukturami, zapis ten może być użyty w dwóch kontekstach: jako szablon struktury, lub jej konkretny (końcowy) opis. Różnica pomiędzy nimi może być zaobserwowana poprzez sprawdzenie czy wszystkie z cech, wymaganych przez założony model, posiadają przypisane im wartości.

Zawarte w zapisie możliwości kompozycji i dziedziczenia mają na celu zwiększenie możliwości późniejszej analizy i przetwarzania poprzez dostarczenie bardzo elastycznych metod przedstawiania relacji strukturalnych.

Tabela 2. Kluczowe elementy notacji użyte do zapisu przykładowego, graficznego opisu konstrukcji  
Table 2. Key elements of the notation used to annotate the example, graphical description of the design

OPIS GRAFICZNY	ZORIENTOWANY OBIEKTOWO, SYMBOLICZNY ZAPIS
	<pre> &lt;struct class="wał" id="s001"&gt; &lt;model class="mechaniczny"&gt; &lt;feature id="alfa" unit="deg" vector="(0,0,1)" /&gt; &lt;node class="trzpień" id="p001"&gt; &lt;feature id="l"&gt;48&lt;/feature&gt; &lt;feature id="d"&gt;35&lt;/feature&gt; &lt;node class="faza"&gt; &lt;feature id="l"&gt;12&lt;/feature&gt; &lt;feature id="alfa"&gt;45&lt;/feature&gt; &lt;/node&gt; &lt;node class="gwint"&gt; &lt;feature id="l"&gt;24&lt;/feature&gt; &lt;/node&gt; &lt;node class="podcięcie"&gt; &lt;feature id="R"&gt;8&lt;/feature&gt; &lt;feature id="d"&gt;8&lt;/feature&gt; &lt;/node&gt; &lt;/node&gt; &lt;/model&gt; &lt;/struct&gt; </pre>

Struktura węzłów utworzona dla każdego z modeli, pozwala jedynie na jednostkowe umieszczenie w niej węzła o konkretnym identyfikatorze. Identyfikatory powinny być unikalne, lub nadawane automatycznie (i oznaczone, jako takie, aby móc pominąć je w analizie) w przypadku ich braku. Powtórzenie identyfikatorów w ramach oddzielnych modeli, uznawane jest za ich tożsamość w ramach danej konstrukcji. O ile węzły w modelu tworzą struktury drzewiaste, to relacje występujące pomiędzy modelami tworzą skierowany graf.

Dodatkowo, koncepcja węzłów, poprzez atrybut CLASS pozwala na tworzenie abstrakcyjnych relacji dziedziczenia pomiędzy poszczególnymi cechami oraz węzłami. Użycie wartości atrybutu 'ID' w atrybucie 'CLASS' elementu języka interpretowane jest jako dziedziczenie i dostarcza mu metodę tworzenia biblioteki cech i węzłów. Użycie tego typu relacji pozwala na zdefiniowanie niejawnych relacji oraz innych informacji opisujących konstrukcję. Aby zapewnić adekwatny zakres i język opisu, używanych

definicji, praktyk, miar i formatów do opisu konstrukcji, przyjmuje się referencyjne modele klasyfikacyjne. Zapewnia to jednolitość i konkretność danych, przenosząc charakter językowy i relacje pojęć na potrzeby analizy numerycznej.

O ile węzły i cechy z różnymi identyfikatorami są różnymi instancjami, to z użyciem wspólnych, ale abstrakcyjnych klas (o wartości nie użytej w zapisie jako identyfikator) nie wiąże się żadna dodatkowa wartość poznawcza. Jak wskazano wcześniej, użycie relacji pomiędzy atrybutem 'ID' a 'CLASS' pozwala na stworzenie drzewa dziedziczenia zawierającego (i domyślnie nadpisującego) wartości cech i węzłów.

Aby uzyskać bardziej kompletny opis relacji pomiędzy węzłami opisu konstrukcji, możliwe tworzenie jest powiązań również pomiędzy węzłami z różnych modeli referencyjnych. Należy nadmienić, że cechy konstrukcji przypisane do konkretnych węzłów są porównywalne ze sobą w ramach wyłącznie jednego modelu. Oznacza to, że relacje pomiędzy węzłami mogą być: strukturalne (np. węzeł m.1 jest tożsamy z węzłem n.1; dla modeli n i m oraz węzłów 1 i 2) lub referencjami wartości (np. wartość cechy m.1.c1 jest obliczona na podstawie wartości cechy n.1.c2).

Zdefiniowanie wcześniejsze cech oraz struktur uznaje się jako ich szablonową definicję, która może zostać później nadpisana poprzez inne elementy zapisu (węzły, cechy) o identycznych identyfikatorach. To podejście w zdefiniowanym zapisie dodaje elastyczności, pozwalając na dołączenie do zapisu abstrakcyjnej wiedzy o zależnościach występujących w konstrukcji.

Wartości cech konstrukcyjnych, przedstawione jako funkcje, nawet w przypadku nieprawidłowego bądź braku możliwości obliczenia, mogą być porównywalne leksykalnie oraz analizowane pod kątem relacji z innymi węzłami lub cechami. W (oczekiwanym) przypadku, w którym przyjęty zapis funkcji dla wartości cech jest zgodny z jednym z wielu istniejących w bibliotekach obliczeniowych, można wykonać proces obliczenia wartości cech przedstawionych jako funkcje. Należy nadmienić, że przy porównywaniu wyników takich obliczeń, należy zwrócić uwagę na jednolitość użytych bibliotek, a różne wersje tego samego narzędzia mogą czasami zwrócić odmienne wyniki. Dodatkowo, należy zwrócić uwagę na potencjalne problemy z kumulacją zaokrągleń oraz przetwarzaniem i porównywaniem liczb rzeczywistych.

#### 4. PODSUMOWANIE

Dalszy rozwój systemu zapisu struktury może być oparty na definiowaniu własnych modeli klasyfikacji referencyjnych oraz bibliotek węzłów gromadzących wiedzę oraz pozwalających na interpretację konstrukcji. Jako przykład można tu przyjąć stworzenie abstrakcyjnego węzła reprezentującego kierunek frezowania. Taki węzeł, grupując kilka węzłów zagnieżdżonych pozwala na tworzenie kompozycji lub ich bardziej złożonych kolekcji w formie abstrakcyjnych klas węzłów.

Zaproponowana notacja pozwala na elastyczny opis konstrukcji, jej cech, relacji występujących pomiędzy jej elementami, oraz uwzględnienie różnych modeli referencyjnych definiujących konstrukcję. Możliwość opisu konstrukcji w formie



symbolicznej, pozwala na koncepcyjną normalizację konstrukcji, a tym samym ułatwia tłumaczenie opisów konstrukcji pomiędzy systemami metrycznymi, graficznymi modelami oraz rysunkami.

Interesującym kierunkiem dalszych badań wydaje się również możliwość zastosowania szerokiej gamy metod i algorytmów numerycznych do analizy zarówno nowych jak i już istniejących konstrukcji.

#### LITERATURA

- [1] BRACHMAN R.J., LEVESQUE H.J., 2004, *Knowledge representation and reasoning*, Morgan Kaufmann.
- [2] DE KLEER J., 1977, *Multiple representations of knowledge in mechanics problem-solver*, Proceedings of IJCAI-77, 299-304.
- [3] FALTINGS B., 1987, *Qualitative kinematics in mechanisms*, Proceedings of IJCAI-87, 436-442.
- [4] KACALAK W., MAJEWSKI M., 2012, *New intelligent interactive automated systems for design of machine elements and assemblies*, ICONIP2012, Doha, Qatar. Lecture Notes in Computer Science, 7666, Part IV, Springer, 115-122.
- [5] KAŁACZYŃSKI T., ŁUKASIEWICZ M., ŻÓŁTKOWSKI B., 2012, *Techniki informatyczne w badaniach stanu maszyn*, Wydawnictwa Uczelniane Uniwersytetu Technologiczno-Przyrodniczego.
- [6] KNOSALA R., i in., 2002, *Zastosowania metod sztucznej inteligencji w inżynierii produkcji*, Wydawnictwa Naukowo-Techniczne.
- [7] PIEGL L.A., 2005, *Ten challenges in computer-aided design*, Computer-Aided Design, 37/4, 461-470.
- [8] TSAI L., 2000, *Mechanism design: enumeration of kinematic structures according to function*, CRC Press.
- [9] ZENG Y., HORVÁTH I., 2012, *Fundamentals of next generation CAD/E systems*, Computer-Aided Design 44/10, 875-878.
- [10] <https://www.w3.org/TR/2008/REC-xml-20081126/#charencoding>
- [11] <https://www.w3.org/XML/>

#### OBJECT-ORIENTED, SYMBOLIC NOTATION FOR DESIGN FEATURES, RELATIONS AND STRUCTURES

Authors propose a method of describing constructions, enabling the usage of numerical methods and intelligent analytical or optimisation procedures. The proposed notation's structure allows for a concise and symbolic representation of the structural design. Authors propose a method of analysing and representing the construction, its features, relations between elements of the analysed object, and structures defining it. Additionally, a procedure for translating a technical drawing and speech description is included. Also, a method of representing the notation in KXML format has been presented.

Keywords: *computer notation for constructions, notation for structural features*