



POLITECHNIKA KOSZALIŃSKA  
WYDZIAŁ MECHANICZNY

KATEDRA INŻYNIERII SYSTEMÓW  
TECHNICZNYCH I INFORMATYCZNYCH

---

**METODYKA OCENY KONSTRUKCJI  
ELEMENTÓW MASZYN  
Z UŻYCIEM MODELI NEURONOWYCH  
I ANTYWZORCÓW**

---

**ROZPRAWA DOKTORSKA**

AUTOR:  
MGR INŻ. ANDRZEJ TUCHOŁKA

PROMOTOR:  
DR HAB. INŻ. MACIEJ MAJEWSKI PROF. PK

KOSZALIN, 2020

*Antywzorzec to przestrzeń cech rozwiązania,  
od granic której należy pozostawać w bezpiecznej odległości.*

---

PROF. DR HAB. INŻ. WOJCIECH KACALAK DR H.C. MULT.

# Spis treści

Spis treści	iii
Spis rysunków	vi
Spis listingów	viii
Spis tabel	ix
Wprowadzenie	x
<b>1 Analiza literatury</b>	<b>1</b>
1.1 Interaktywne procesy projektowania maszyn . . . . .	5
1.2 Metody numeryczne i ich zastosowania . . . . .	8
1.3 Problemy oceny jakości . . . . .	10
1.3.1 Analiza porównawcza . . . . .	11
1.3.2 Antywzorce . . . . .	12
1.4 Wnioski z analizy literatury . . . . .	13
<b>2 Cel, tezy i zakres pracy</b>	<b>15</b>
2.1 Geneza pracy . . . . .	15
2.1.1 Uzasadnienie wyboru tematu pracy . . . . .	17
2.2 Schemat i zakres pracy badawczej . . . . .	18
2.3 Cel rozprawy doktorskiej . . . . .	20
2.3.1 Problemy naukowe wymagające rozwiązania . . . . .	20
2.4 Tezy rozprawy doktorskiej . . . . .	22
2.5 Zakres pracy . . . . .	22
2.6 Zastosowanie rozwiązania . . . . .	24
2.7 Oczekiwane rezultaty pracy . . . . .	24
<b>3 Analiza teoretyczna</b>	<b>29</b>
3.1 Antywzorce . . . . .	32
3.1.1 Definicja antywzorca . . . . .	40
3.1.2 Zastosowania antywzorców w informatyce . . . . .	42
3.1.3 Zastosowania antywzorców w zarządzaniu . . . . .	43
3.2 Modele klasyfikacyjne . . . . .	44
3.3 Cechy konstrukcji mechanicznych . . . . .	47
3.4 Zapisy struktury konstrukcji mechanicznych . . . . .	51

3.4.1	ISO 10303, ISO 13567, ISO 13584 . . . . .	54
3.4.2	Wielowymiarowy opis konstrukcji . . . . .	55
3.5	Relacje pomiędzy elementami konstrukcji . . . . .	56
3.6	Zapis wartości cech konstrukcyjnych . . . . .	58
3.6.1	Funkcje obliczeniowe . . . . .	59
3.6.2	Jednostki i normalizacja miar . . . . .	59
3.7	Niekompletność danych . . . . .	60
3.8	Charakterystyka zapisu cech konstrukcyjnych . . . . .	60
<b>4</b>	<b>Metoda identyfikacji antywzorców</b>	<b>63</b>
4.1	Klasyfikacja i zarządzanie bazą antywzorców . . . . .	68
4.1.1	Metoda tworzenia antywzorców . . . . .	68
4.1.2	Redukcja złożoności opisu antywzorca . . . . .	69
4.2	Opracowane antywzorce . . . . .	70
4.2.1	AE1 - elementy w otworze pod pokrywą . . . . .	72
4.2.2	AG1 - łączenie korpusu z pokrywą . . . . .	74
4.2.3	AM1 - cechy obróbki powierzchni . . . . .	76
4.2.4	AM2 - tolerancja płaskości . . . . .	78
4.2.5	AM3 - tolerancja współosiowości . . . . .	80
4.2.6	AM4 - rozmieszczenie osi . . . . .	82
4.2.7	AM5 - rozstaw osiowy . . . . .	84
4.2.8	AM6 - brak ożebrowania . . . . .	86
4.2.9	AM7 - wysokość kołnierza pod pokrywą . . . . .	88
4.2.10	AO1 - grubość ściany . . . . .	90
4.2.11	AO2 - pochylenie dna kadzi olejowej . . . . .	92
4.2.12	AO3 - zgrubienia w odlewie . . . . .	94
4.2.13	AO4 - nadmiar wymiaru . . . . .	96
4.2.14	AO5 - pochylenie odlewnicze . . . . .	98
4.2.15	AS1 - obróbka brzegów do spawania . . . . .	100
4.2.16	AS2 - lokalizacja spoiny pachwinowej . . . . .	101
4.2.17	AS3 - ułożenie ścian . . . . .	102
4.3	Antywzorce w ocenie jakości . . . . .	104
<b>5</b>	<b>Metoda symbolicznego zapisu cech konstrukcji</b>	<b>105</b>
5.1	Składnia języka zapisu cech konstrukcji KXML . . . . .	110
5.1.1	Słowa kluczowe . . . . .	113
5.1.2	Modele klasyfikacyjne . . . . .	115
5.1.3	Typy danych . . . . .	115
5.1.4	Klasy i instancje . . . . .	116
5.1.5	Typy relacji w języku KXML . . . . .	121
5.1.6	Zapis wyrażeń matematycznych . . . . .	123
5.1.7	Niekompletność danych . . . . .	123
5.1.8	Cechy wybranej metody opisu konstrukcji . . . . .	126
5.2	Formaty zapisu . . . . .	127
5.3	Przetwarzanie danych . . . . .	130
5.3.1	Dekompozycja konstrukcji na potrzeby zapisu . . . . .	131



---

5.3.2	Parsowanie zapisu w celu dalszego przetwarzania . . . . .	131
5.4	Przykład zastosowania . . . . .	133
<b>6</b>	<b>Metoda oceny konstrukcji elementów maszyn</b>	<b>135</b>
6.1	Zdefiniowanie referencji jakościowej . . . . .	138
6.2	Wybór cech istotnych dla analizy . . . . .	139
6.3	Normalizacja cech konstrukcji . . . . .	142
6.3.1	Normalizacja wartości cech . . . . .	142
6.3.2	Pseudo-wyrażenia matematyczne . . . . .	143
6.3.3	Normalizacja struktury opisu . . . . .	144
6.3.4	Relacje pomiędzy obiektami elementarnymi . . . . .	145
6.4	Klasyfikacja testowanych elementów . . . . .	145
6.4.1	Metody określania podobieństwa . . . . .	146
6.5	Ocena jakości konstrukcji mechanicznej . . . . .	147
6.5.1	Odległość cech projektu od antywzorca . . . . .	148
6.5.2	Wpływ struktury konstrukcji na ocenę jakości . . . . .	149
6.5.3	Wpływ cech konstrukcji na ocenę jakości . . . . .	150
<b>7</b>	<b>Numeryczna analiza cech konstrukcji mechanicznych</b>	<b>151</b>
7.1	Współczynnik zgodności z antywzorcem . . . . .	153
7.1.1	Model multiplikacyjny . . . . .	155
7.2	Zmodyfikowana odległość Hamminga . . . . .	156
7.3	Samo-organizujące mapy w ocenie jakości . . . . .	157
7.4	Sieci probabilistyczne w ocenie jakości . . . . .	159
7.5	Analiza przydatności sieci konwolucyjnych w ocenie jakości . . . . .	160
7.5.1	Struktura danych wejściowych . . . . .	161
7.5.2	Wykrywanie antywzorcowych opisów cech konstrukcji . . . . .	162
<b>8</b>	<b>Wnioski i kierunki rozwoju</b>	<b>163</b>
8.1	Zastosowania opracowanej metodyki . . . . .	165
8.2	Stosowalność badanych metod numerycznych . . . . .	166
8.2.1	Precyzja obliczeń . . . . .	167
8.2.2	Analiza struktury konstrukcji . . . . .	167
8.3	Ograniczenia opracowanej metodyki . . . . .	168
8.4	Zwiększenie możliwości transferu i integracji wiedzy . . . . .	169
8.4.1	Biblioteka cech konstrukcyjnych . . . . .	169
8.4.2	Biblioteka antywzorców . . . . .	169
8.5	Kluczowe cechy modeli klasyfikacyjnych . . . . .	170
8.5.1	Niejawność informacji w opisie rysunkowym i słownym . . . . .	170
8.5.2	Nieeuklidesowe odległości w ocenie podobieństwa . . . . .	171
	<b>Bibliografia</b>	<b>172</b>
	<b>Streszczenie</b>	<b>182</b>
	<b>Abstract</b>	<b>184</b>

# Spis rysunków

1.1	Model antywzorca naddatku obróbkowego . . . . .	2
1.2	Model oceny wartości cech projektowych z użyciem antywzorców. . . . .	4
1.3	Model ekstrakcji cech konstrukcji z programu AutoCAD . . . . .	7
2.1	Niekompletne wizualizacje korpusu przekładni ślimakowej . . . . .	16
2.2	Niekompletnie zwymiarowany korpus przekładni ślimakowej . . . . .	17
2.3	Schemat pracy badawczej . . . . .	19
2.4	Schemat oceny konstrukcji mechanicznych . . . . .	23
2.5	Referencyjny wałek wielostopniowy . . . . .	25
3.1	Bieżąca metoda realizacji zadań projektowych . . . . .	29
3.2	Proponowana metoda realizacji zadań projektowych . . . . .	30
3.3	Schemat prac projektowych opartych o komunikację głosową . . . . .	31
3.4	Błędne połączenie pretów . . . . .	32
3.5	Antywzorce łączenia mechanicznego . . . . .	33
3.6	Antywzorcowe cechy wałka wielostopniowego . . . . .	36
3.7	Antywzorcowy wałek wielostopniowy . . . . .	37
3.8	Poprawny wałek wielostopniowy . . . . .	38
3.9	Referencyjny korpus przekładni ślimakowej . . . . .	41
3.10	Zależność pomiędzy elementem testowym a wzorcem i antywzorcem . . . . .	42
3.11	Schemat klasyfikacji rozwiązań konstrukcyjnych i antywzorców . . . . .	43
3.12	Wałek wielostopniowy nr 1 . . . . .	45
3.13	Wałek wielostopniowy nr 2 . . . . .	46
3.14	Wizualizacja 3D przekładni ślimakowej . . . . .	48
3.15	Wizualizacja 3D koła zębatego ślimacznicy . . . . .	49
3.16	Wałek wielostopniowy nr 3 . . . . .	50
3.17	Wizualizacja 3D korpusu z pokrywami i tulejami łożyskowymi . . . . .	52
3.18	Schemat zidentyfikowanych relacji geometrycznych . . . . .	57
4.1	Wizualizacja 3D badanych korpusów: wzorca i antywzorca . . . . .	64
4.2	Antywzorcowy korpus nr 1 . . . . .	66
4.3	Antywzorcowy korpus nr 2 . . . . .	67
4.4	AE1.1 - półotwór w ścianie bocznej korpusu pod pokrywą . . . . .	72
4.5	AG1.1 - cechy powierzchni płaszczyzny łączenia korpusu z pokrywą . . . . .	74
4.6	AM1 - cechy powierzchni płaszczyzny łączenia korpusu z pokrywą . . . . .	76
4.7	AM2 - tolerancja płaskości płaszczyzny . . . . .	78

---

4.8	AM3 - tolerancja współosiowości otworów pod węzły łożyskowe . . . . .	80
4.9	AM4 - prostopadłość osi ślimaka i ślimacznicy . . . . .	82
4.10	AM5 - rozstaw osiowy ślimaka i ślimacznicy . . . . .	84
4.11	AM6 - ożebrowanie korpusu przekładni ślimakowej . . . . .	86
4.12	AM7.1 - wysokość kołnierza pod pokrywą . . . . .	88
4.13	AO1 - połączenia ścian korpusu . . . . .	90
4.14	AO2 - pochylenie kadzi olejowej . . . . .	92
4.15	AO3 - ukształtowanie połączenia ścian obudowy korpusu odlewanego .	94
4.16	AO4.1 - wymiary ucha nośnego korpusu . . . . .	96
4.17	AO5 - pochylenie odlewnicze . . . . .	98
4.18	AS1 - brzegi do spawania . . . . .	100
4.19	AS2 - lokalizacja spiny pachwinowej . . . . .	101
4.20	AS3 - połączenie spawane ścian korpusu z podstawą . . . . .	102
5.1	Wizualizacja komputerowej reprezentacji korpusu . . . . .	106
5.2	Komputerowy obrys reprezentacji projektu przekładni ślimakowej . . .	108
5.3	Spawany korpus przekładni ślimakowej . . . . .	109
5.4	Schemat struktury symbolicznego zapisu cech konstrukcji . . . . .	111
5.5	Schemat elementów symbolicznego zapisu cech konstrukcji . . . . .	111
5.6	Relacje strukturalne KXML (typ A) . . . . .	121
5.7	Relacje dziedziczenia w KXML (typ B) . . . . .	122
5.8	Relacje tożsamości pomiędzy modelami w KXML (typ C) . . . . .	123
5.9	Koncepcja systemu z użyciem zapisu symbolicznego . . . . .	133
6.1	Przekształcenia danych opisujących cechy konstrukcji . . . . .	136
6.2	Schemat przyjętej metody zastosowania sieci konwolucyjnych . . . . .	137
6.3	Schemat sieci neuronowej klasyfikującej cechy konstrukcji . . . . .	140
6.4	Schemat sieci neuronowej klasyfikującej cechy produkcyjne . . . . .	141
6.5	Schemat przyjętej metody numerycznej analizy struktury . . . . .	144
7.1	Współczynnik zgodności z antywzorcem . . . . .	154
7.2	Schemat sieci Hamminga klasyfikującej cechy konstrukcji . . . . .	157
7.3	Schemat mapowania cech na warstwę sieci Kohonena . . . . .	158
7.4	Schemat mapowania cech konstrukcji z użyciem sieci konwolucyjnej . .	160

# Spis listingów

2.1	Uproszczony zapis symboliczny struktury i cech wału z rys. 2.5 . . . . .	25
3.1	Symboliczny zapis antywzorcowych cech łączy mechanicznych . . . . .	34
3.2	Symboliczny opis stałych i zmiennych wartości cech konstrukcji . . . . .	34
3.3	Symboliczny model antywzorcowych cech w strukturze konstrukcji . . . . .	35
3.4	Symboliczny opis antywzorca połączenia śrubowego . . . . .	35
4.1	Symboliczny opis antywzorca AE1 . . . . .	73
4.2	Symboliczny opis antywzorca AG1 . . . . .	75
4.3	Symboliczny opis antywzorca AM1 . . . . .	77
4.4	Symboliczny opis antywzorca AM2 . . . . .	79
4.5	Symboliczny opis antywzorca AM3 . . . . .	81
4.6	Symboliczny opis antywzorca AM4 . . . . .	83
4.7	Symboliczny opis antywzorca AM5 . . . . .	85
4.8	Symboliczny opis wzorca AM6 . . . . .	87
4.9	Symboliczny opis antywzorca AM7 . . . . .	89
4.10	Symboliczny opis antywzorca AO1 . . . . .	91
4.11	Symboliczny opis antywzorca AO2 . . . . .	93
4.12	Symboliczny opis antywzorca AO3 . . . . .	95
4.13	Symboliczny opis antywzorca AO4 . . . . .	97
4.14	Symboliczny opis antywzorca AO5 . . . . .	99
4.15	Symboliczny opis antywzorca AS1 . . . . .	100
4.16	Symboliczny opis antywzorca AS2 . . . . .	101
4.17	Symboliczny opis antywzorca AS3 . . . . .	103
5.1	Przykład zapisu KXML prezentujący ogólną strukturę języka . . . . .	107
5.2	Definicje przykładowych cech elementów konstrukcji . . . . .	112
5.3	Przykładowa struktura stopnia wału . . . . .	112
5.4	Identyfikatory instancji w KXML . . . . .	116
5.5	Użycie identyfikatorów w wielu modelach KXML . . . . .	117
5.6	Współdzielenie definicji cech w ramach jednego modelu . . . . .	118
5.7	Współdzielenie informacji o tożsamości węzła pomiędzy modelami . . . . .	119
5.8	Integracja wartości cech z różnych modeli klasyfikacyjnych . . . . .	119
5.9	Zapis dwóch struktur o różnych wartościach jednakowych cech . . . . .	120
5.10	Antywzorzec AE1 w formacie KXML . . . . .	127
5.11	Antywzorzec AE1 w formacie JSON . . . . .	128
5.12	Antywzorzec AE1 w formacie YAML . . . . .	128
5.13	Składnia zapisu symbolicznego KXML w formacie XSD . . . . .	129

# Spis tabel

3.1	Rodzaje informacji opisujących konstrukcje mechaniczne . . . . .	53
3.2	Kluczowe różnice pomiędzy badanymi formami opisu konstrukcji . . .	61
4.1	Kluczowe cechy referencyjnych antywzorców . . . . .	71
6.1	Macierzowa reprezentacja antywzorca AG1 . . . . .	144
7.1	Kluczowe możliwości wybranych modeli numerycznych . . . . .	152

# Wprowadzenie

Konstrukcje mechaniczne pełnią w codziennym życiu szereg funkcji. Ich przydatność do konkretnych zadań uzależniona jest od ich fizycznych właściwości wynikających z ich struktury, wielowymiarowych cech (np. materiału, obróbki, kształtu, umiejscowienia) oraz relacji zachodzących pomiędzy poszczególnymi ich częściami. Wraz z rosnącym zapotrzebowaniem na komputerowe wsparcie prac wykonywanych przez projektantów maszyn, tworzone są systemy informatyczne typu CAD, które (w oparciu o modele wektorowe) pozwalają na tworzenie cyfrowych informacji opisujących elementy maszyn. Niestety opis konstrukcji mechanicznych z użyciem jedynie technik wektorowych pomija informacje o funkcji poszczególnych części konstrukcji oraz tworzy abstrakcyjną i często niepraktyczną strukturę i format zapisu. Wywodzące się z technik rysunku technicznego, metody symbolicznej reprezentacji cech konstrukcyjnych w formie zapisów wektorowych, nie pozwalają na zautomatyzowaną analizę cech konstrukcji. Podjęty został szereg prób rozszerzenia i zmiany sposobu definiowania konstrukcji w przestrzeni informacyjnej, jednak ciągle brakuje narzędzi i metod wspierających ocenę konstrukcji z użyciem wiedzy konstruktorskiej.

Większość czynności związanych z projektowaniem elementów maszyn jest bezpośrednio uzależniona od przypisanej im funkcji oraz jakości z jaką tą funkcję spełniają. Istotnym czynnikiem wynikającym z szeroko pojmowanej koncepcji jakości elementów maszyn, jest ich kosztowność zarówno w produkcji jak i eksploatacji. Mimo tego, że to proces projektowania elementów maszyn uznawany jest za główny składnik kosztowy, komputerowa weryfikacja projektowanej konstrukcji następuje dopiero po jej ukończeniu. Wynika to z wymogu posiadania kompletnego zbioru danych, na potrzeby symulacji z użyciem konwencjonalnych modeli matematycznych. Wydaje się naturalnym, by projektant (korzystając ze swej wiedzy eksperckiej) mógł wskazać nieprawidłową część lub cechę konstrukcji, jeszcze przed jej ukończeniem. Dlaczego nie możemy tego jeszcze zrobić z użyciem komputerów?

Możliwość komputerowego przechowywania i przetwarzania wiedzy eksperckiej (i.e. znajomość dobrych oraz złych rozwiązań konstrukcyjnych) pozwala na stosowanie nowoczesnych metod numerycznych dostępnych wyłącznie w obliczeniach komputerowych. Zastosowanie proponowanej metody oceny jakości z użyciem antywzor-

ców i modeli neuronowych ma na celu redukcję czasu potrzebnego projektantowi na stworzenie poprawnej konstrukcji. Oszczędności te, wynikają z obniżenia ilości czasu potrzebnego do wykrycia błędu konstrukcyjnego, a tym samym na odnalezienie rozwiązania prawidłowego w ramach niekompletnej, tworzonej konstrukcji. Komputer znając szereg powtarzających się, nieprawidłowych rozwiązań (antywzorców) może wykryć błąd projektowy, bez potrzeby tworzenia modelu symulacyjnego, czy nawet kompletnej części maszyny. Proponowana metoda identyfikacji antywzorcowych elementów maszyn, pozwala na utworzenie obszernej bazy wiedzy zawierającej symboliczną reprezentację części wiedzy eksperckiej. Powszechna dostępność takiej bazy wiedzy pozwoli przyspieszyć i zredukować koszt edukacji projektantów maszyn, a także utrwali przyrost wiedzy o konstrukcjach mechanicznych. Trudniej jest przewidzieć przyszłość niż opisać przeszłość, jednak wydaje się zasadnym oczekiwanie wystąpienia znacznych optymalizacji w procesie projektowania maszyn: redukcji czasu, kosztu oraz zwiększenia jakości projektowanych elementów maszyn.

Proponowana metoda oceny jakości elementów maszyn, oparta jest o badanie korelacji występującej pomiędzy cechami konstrukcji przeznaczonych do realizacji tej samej funkcji. Poprzez porównanie symbolicznych opisów cech konstrukcji, można określić ich wzajemne podobieństwo. Wykrycie podobieństwa projektu do antywzorca pozwala na natychmiastowe wskazanie błędu w projekcie i redukcję czasu potrzebnego do stworzenia poprawnej konstrukcji. Należy nadmienić, że w ramach prowadzonych prac, antywzorcy funkcjonują jako koncept reprezentujący umowny zbiór rozwiązań uznawanych za niepożądane. Oczywiście wydaje się umieszczenie w bibliotece rozwiązań w sposób oczywisty błędnych, jednak nie dostarczają one zwiększonych możliwości poznawczych projektantom maszyn. Znacznie bardziej wartościowe są antywzorcy wynikające z: nieoczywistych błędów konstrukcyjnych, rozwiązań prawidłowych jedynie częściowo lub w specyficznych kontekstach. Tak zdefiniowane i tworzone antywzorcy pozwalają na stworzenie zbioru rozwiązań tworzących referencje jakości, a tym samym wielowymiarowy graf cech konstrukcyjnych ją opisujący.

Istotnym czynnikiem postępu i adopcji nowatorskich rozwiązań, jest stopień w jakim redukują one energochłonność danego przedsięwzięcia. Stworzony zapis cech konstrukcji pozwala na reprezentację niekompletnych danych, a proponowane metody numeryczne potrafią wykryć antywzorcy nawet w niepełnych opisach konstrukcji. Oznacza to, że metoda inteligentnej oceny jakości elementów konstrukcyjnych pozwala na definiowanie uniwersalnego zestawu antywzorców jako grafów wartości cech konstrukcyjnych. Zapis ten może więc przedstawiać zarówno najmniejsze jednowęzłowe antywzorcy (np. gwint), jak i bardziej złożone konstrukcje (np. korpus przekładni ślimakowej).

Tematyka kontynuowana w ramach badań opisanych w tej rozprawie doktorskiej,

została po raz pierwszy przeanalizowana w ramach projektu Narodowego Centrum Nauki<sup>1</sup>, w ramach którego opublikowałem opracowaną metodę symbolicznego zapisu cech konstrukcyjnych. Dalsze publikacje, prowadzone były w ramach programu *Młodzi Naukowcy* oraz prac w ramach zespołu naukowo-dydaktycznego. Niniejsza rozprawa doktorska opisuje prace badawcze, które przeprowadziłem aby określić zasadność stosowania antywzorców i modeli neuronowych do wspierania projektowania elementów maszyn i ich zespołów. Analizę prowadziłem w oparciu o dwa nurty naukowo-badawcze: automatyzację procesów projektowania maszyn oraz ocenę jakości elementów maszyn. Łącząc te dwa obszary, opracowałem metodę oceny konstrukcji elementów maszyn z użyciem antywzorców i modeli neuronowych. Stworzony w tym celu obiektowy język opisu konstrukcji (KXML), ułatwia automatyzowanie procesów projektowania elementów maszyn oraz analizę ich konstrukcji (poprawności, spełniania norm, kryteriów, czy optymalności rozwiązań). Zapis ten pozwala na powiązanie cech elementu z realizowaną przez niego funkcją oraz na naturalną, leksykalną dekompozycję konstrukcji.

Stopniowo poszerzając zakres możliwości numerycznego przetwarzania opisu struktury konstrukcji mechanicznych, zaprojektowałem szereg modeli algebraicznych (sumacyjny, multiplikacyjny), algorytmicznych (odległość Hamminga, mapa Kohonena) i neuronowych (PNN, CNN). Pozwalają one na wielowymiarową klasyfikację i wykrywanie podobieństwa elementów maszyn. Klasyfikacja ta, poprzez określenie podobieństwa do znacznej ilości antywzorcowych elementów, pozwala na porównawczą ocenę jakości konstrukcji mechanicznych.

Główną zaletą płynącą z użycia antywzorców (w porównaniu do wzorcowych elementów i lustrzanej interpretacji) to redukcja ograniczeń przestrzeni możliwych rozwiązań konstrukcyjnych oraz możliwość pracy w oparciu o niekompletne dane. Stworzony język symbolicznego zapisu KXML pozwala na jawne zadeklarowanie kluczowych cech konstrukcji, a tym samym bardziej kompletną i bezpośrednią translację wiedzy konstruktorskiej do formy symbolicznej - przetwarzanej komputerowo. Powszechna dostępność (np. przez Internet) znacznego zbioru antywzorców konstrukcyjnych dostarczyć może znaczne, globalne korzyści dla ludzkości. Wynikają one ze istotnego obniżenia kosztu transferu, replikacji i utrwalania ulotnej wiedzy konstruktorskiej. Wprowadzenie możliwości komputerowej reprezentacji antywzorców, połączonej z możliwością ich wykrywania w popularnych programach konstruktorskich, pozwala na znaczne przyspieszenie procesu szkolenia nowych konstruktorów oraz na wyeliminowanie znacznych ilości błędów w konstrukcjach mechanicznych.

---

<sup>1</sup>UMO-2012/05/B/ST8/02802



# Rozdział 1

## Analiza literatury

W trakcie badań<sup>1</sup> nad inteligentną komunikacją z maszynami [59], dostrzeżono nowe możliwości wynikające z analizy opartej o porównywanie cech konstrukcji [65] oraz ich zastosowania w projektowaniu i komputerowym opisie części mechanicznych [63].

Jako jeden z elementów prac nad projektem badawczym *Teoretyczne podstawy automatyzacji procesów projektowania elementów i zespołów maszyn z zastosowaniem sztucznej inteligencji, w warunkach niepewności i niepowtarzalności procesów*<sup>2</sup>, opracowano pierwszą z metod stosowania antywzorców w Mechanice i Budowie Maszyn [62]. Przedstawiona w projekcie tym metodyka, pozwala na ocenę bezpieczeństwa technologicznego poleceń. Przeprowadzono ją w oparciu o analizę cech konstrukcyjnych i identyfikacji odpowiadających im antywzorców (rys. 1.1). Zaproponowana ocena wartości projektowych (rys. 1.2) oparta jest o rozmytą ocenę efektów funkcji danego elementu konstrukcji, której wyniki poddawane są wielowymiarowej analizie (przy użyciu sieci neuronowej) mającej na wskazanie końcowej oceny wejściowych cech konstrukcji - w oparciu o zdefiniowane antywzorce.

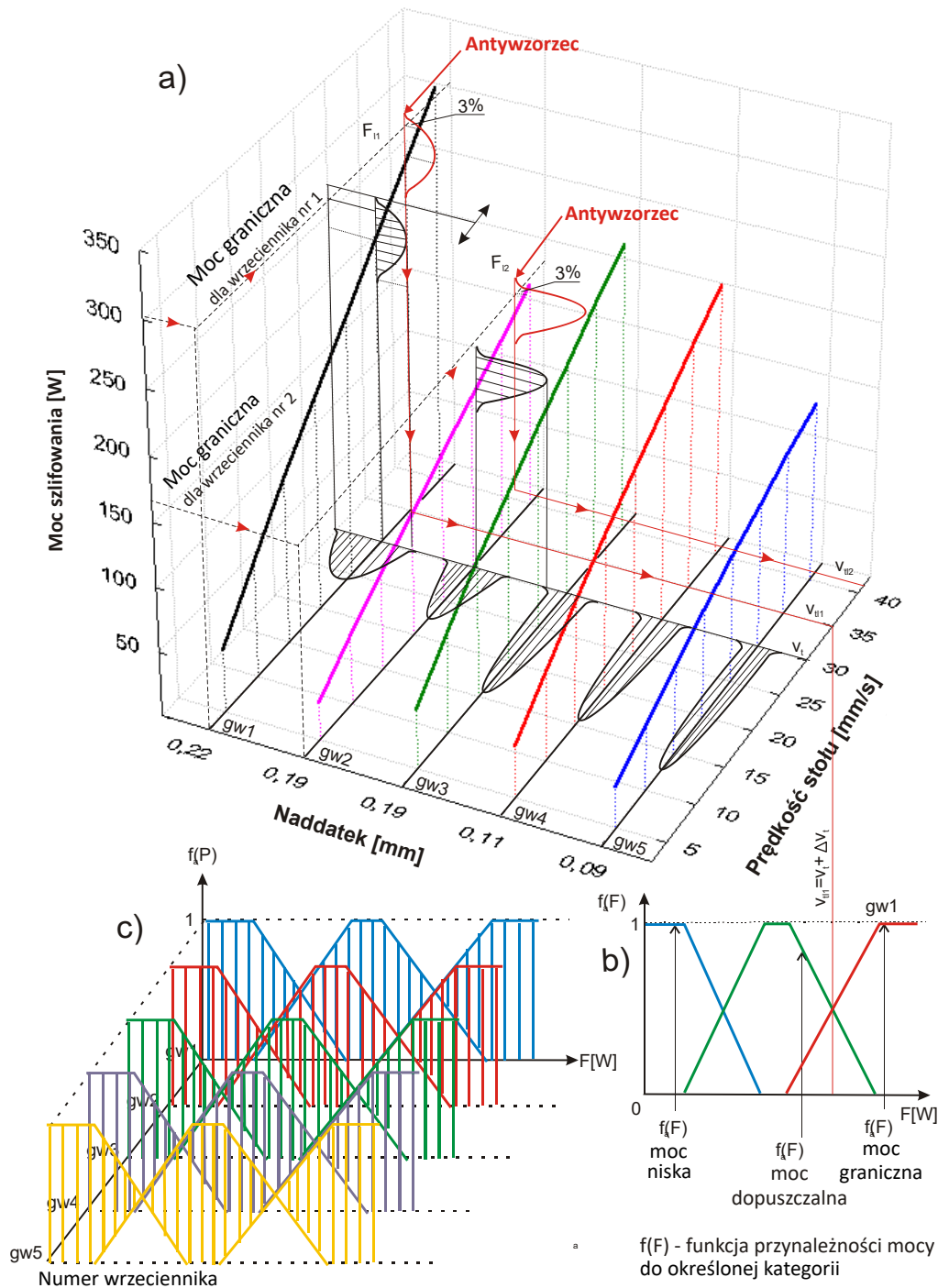
Linie na rys. 1.1 przedstawiają zależność mocy od parametrów obróbki dla poszczególnych wrzecienników, dla których ustalana jest moc graniczna obróbki (definiująca również prędkość graniczną stołu). Obliczenia te mają na celu normalizację istotnych cech konstrukcji, przeprowadzoną w odniesieniu do antywzorcowych cech elementu maszyny (np. naddatek skrawania będący efektem zwiększanej prędkości stołu). Dodatkowo, stworzona została klasyfikacja antywzorców oparta o źródło nieprawidłowości antywzorcowej cechy konstrukcji mechanicznej [65].

Czerpiąc inspirację z tych prac badawczych, rozpoczęto analizę zasadności i możliwości zastosowania antywzorców do wspierania projektowania konstrukcji mechanicznych. Kluczowymi czynnikami istoty antywzorców jest ich błędny charakter oraz wpływ na jakość konstrukcji, dlatego analizę zastosowań antywzorców w Mechanice

---

<sup>1</sup>prowadzonych w Katedrze Inżynierii Systemów Technicznych i Informatycznych, WM, PK

<sup>2</sup>UMO-2012/05/B/ST8/02802



**Rysunek 1.1: Model antywrzorca naddatku obróbkowego.** Wizualizuje poznawcze podstawy pozwalające na zdefiniowanie antywrzorca definiującego graniczną siłę szlifowania.

- Dopuszczalne granice siły szlifowania dla każdego z narzędzi obróbkowych.
- Funkcja definiująca dolne i górne ograniczenia siły obróbki.
- Funkcja ograniczeń dla każdego z narzędzi obróbkowych.

i Budowie Maszyn, przeprowadzono w oparciu o problematykę oceny jakości elementów maszyn i konstrukcji mechanicznych.

Obszar badań komputerowej oceny jakości obiektów fizycznych, kształtowany jest od lat 70-tych XX w. i dostarcza metod pozwalających na reprezentację obiektów i wnioskowanie na temat ich właściwości. Jedną z kluczowych zalet opisywanych metod jest wsparcie dla procesów dedukcyjnych. Nowatorskie techniki numeryczne i struktury reprezentacji wiedzy, pozwalają na tworzenie systemów automatyzujących subtelną wiedzę ekspercką [34].

Od lat tworzone i doskonalone są modele obliczeniowe, matematyczne oraz fizyczne, pozwalające projektantom maszyn lepiej przewidywać zachowanie tworzonych konstrukcji. Dostępne wyniki badań i analiz problematyki oceny jakości obiektów fizycznych, wskazują na kluczową rolę zarówno struktury obiektu jak i funkcji jaką ma on pełnić [130]. Ze względu na brak jakichkolwiek nawiązań do antywzorców, zdefiniowana we wcześniejszych (międzynarodowych i krajowych) badaniach problematyka oceny jakości, wydaje się solidną podstawą do badań nad stosowalnością antywzorców w Mechanice i Budowie Maszyn.

Bieżąca metoda modelowania i analizy obiektów fizycznych<sup>3</sup> opiera się na: symulacji teoretycznej z użyciem modelu fizycznego wspartego metodami algebraicznymi [115, 116] oraz symulacjach komputerowych z użyciem szeregu aplikacji własnych lub komercyjnych (np. Matlab, ANSYS - automatyzujących złożone modele obliczeniowe).

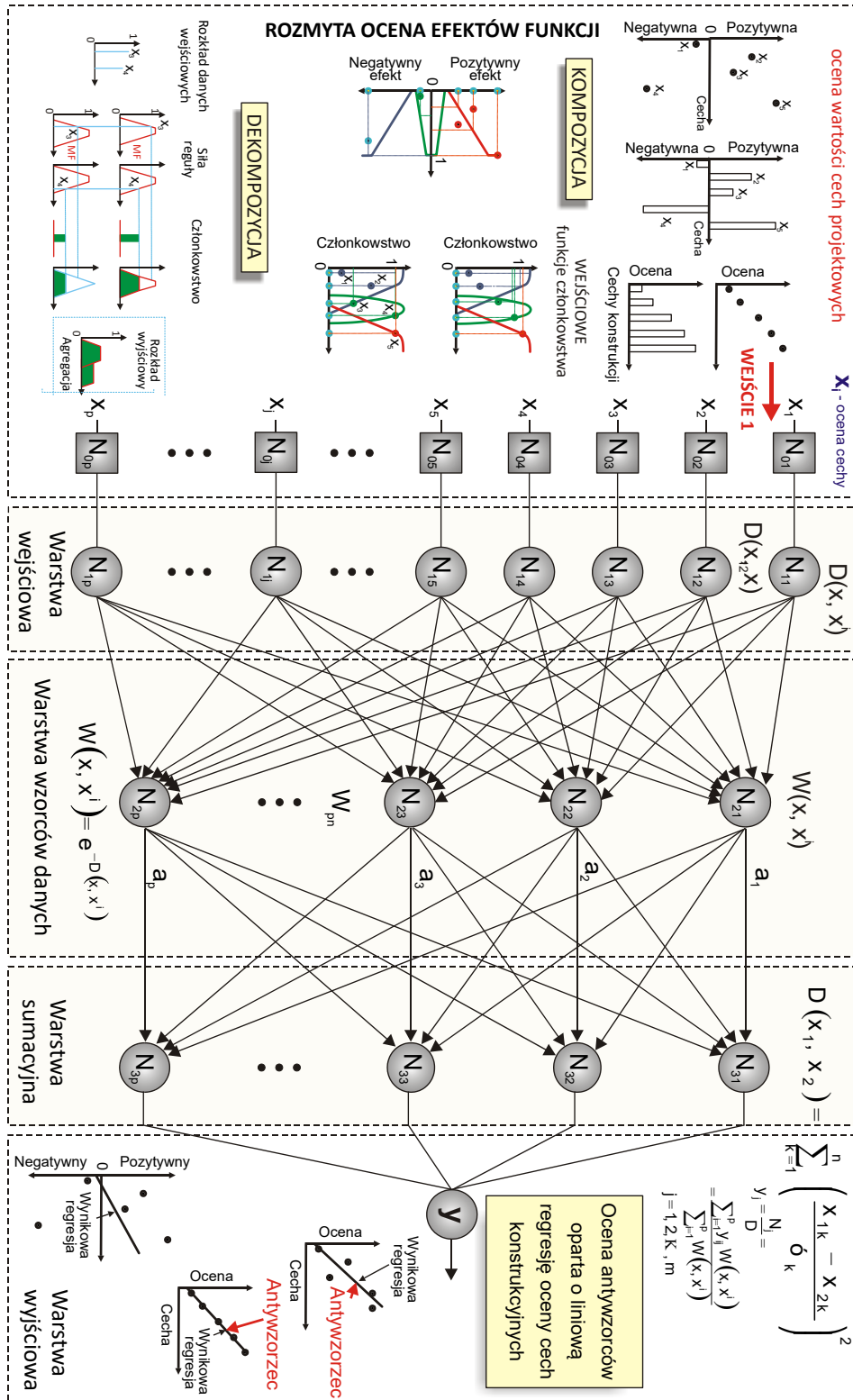
Dostępny jest szereg metod i technik wspierających systematyzację procesu analizy jakości procesów wytwórczych oraz systemów eksperckich, w szczególności mających na celu redukcję ilości występujących wad [38]. Opracowane zostały nowatorskie modele numeryczne pozwalające na wielofunkcyjną ocenę jakości urządzeń technologicznych [39]. W tym zautomatyzowanym modelu widoczne są zalety wynikające z komputeryzacji procesu oceny odchyłeń wymiarów projektowych od rzeczywistych (w odróżnieniu od zakładanych wymiarów projektowych).

Modele te wiernie odzwierciedlają złożone obliczenia numeryczne, pozwalając na symulację zachowania obiektów fizycznych w środowisku komputerowym [103]. Wymagają one jednak kompletności informacji opisujących badane obiekty fizyczne. Tym samym nie można ich stosować w trakcie powstawania projektu maszyny, co wydłuża czas trwania i ilość potrzebnych iteracji wykonywanych przez projektanta maszyn.

Ilość wzajemnych relacji zachodzących pomiędzy częściami maszyny powoduje wykładniczy wzrost ilości możliwych nieprawidłowości, które muszą zostać usunięte przez projektantów konstrukcji mechanicznej. Możliwość numerycznego wykrywania tych subtelnych błędów, jeszcze przed posiadaniem ukończonej konstrukcji, wydaje się znacznie redukować czas procesu projektowania maszyny.

---

<sup>3</sup>uczona również jako część odbytych studiów doktoranckich



Rysunek 1.2: Model oceny wartości cech projektowych z użyciem antywzorców.

Wraz z rozwojem technologii informatycznych powstają nowatorskie modele obliczeniowe znajdujące zastosowania przy projektowaniu elementów maszyn oraz kontroli i nadzorze operacyjnym ich pracy. Między innymi, pozwalają one na klasyfikację i rozpoznawanie obiektów fizycznych na podstawie tylko częściowych informacji oraz posiadają wiele innych zastosowań opierających się na rozpoznawaniu wzorców w symbolicznych danych. Zaobserwowane możliwości nowych technik obliczeniowych, są również wykorzystywane w Mechanice i Budowie Maszyn. Dostępne są nowatorskie modele pozwalające na szacowanie kosztów czy harmonogramowanie produkcji, jednak nadal wskazywana jest potrzeba prowadzenia interdyscyplinarnych badań mających na celu przybliżenie i popularyzację możliwości nowoczesnych technik obliczeniowych w Mechanice i Budowie Maszyn [74].

## 1.1 Interaktywne procesy projektowania maszyn

Automatyzacja i komputeryzacja procesów projektowania maszyn, której rozwój rozpoczęto w drugiej połowie ubiegłego stulecia, opiera swoje korzenie w narzędziach mających na celu ułatwienie i przyspieszenie obliczeń modeli matematycznych i fizycznych, zaimplementowanych w środowisku komputerowym [117]. Rozwój możliwości obliczeniowych komputerów, umożliwił znaczne rozszerzenie zakresu stosowanych algorytmów oraz możliwości komputerowego wspierania procesów projektowania maszyn [17]. Pozwala to na manualne tworzenie złożonych symulacji zachowania konstrukcji mechanicznych, a tym samym przewidywanie skutków ich użycia w rzeczywistości oraz ich subiektywnej jakości [103]. Wsparcie komputerowe dla procesów projektowania części maszyn [4, 7, 32, 100] jest jednym z głównych czynników pozwalających na przyspieszenie i zwiększenie precyzji obliczeń.

W latach 90tych ubiegłego wieku, prowadzone były prace nad automatyczną klasyfikacją elementów maszyn z użyciem sieci neuronowych [69]. Już wtedy nowatorskie możliwości nieznanymi wcześniej algorytmów, znajdowały szeroki zakres zastosowań w analizie konstrukcji mechanicznych i części maszyn [50, 88]. Zaobserwowano również nurt badań nad możliwościami stosowania sieci neuronowych w Mechanice i Budowie Maszyn. Kontynuowane są badania i próby stosowania nowych możliwości automatycznej klasyfikacji danych przy ocenie: części maszyn, wykonywanych przez maszyny procesów, jakości produktów i kontroli operacyjnej [52, 74, 118].

Zaobserwowano również znaczny wpływ postępu (w technikach obliczeniowych opartych o uczenie maszynowe) na możliwości wsparcia projektowania i analizy konstrukcji mechanicznych. Możliwości klasyfikacji poprzez badanie wielowymiarowego podobieństwa, pozwoliły na stworzenie szeregu modeli i metod wspierających zautomatyzowane rozwiązywanie problemów, analizę planów produkcji czy konfiguracji

maszyn [86]. Szeroki zakres zastosowań metod sztucznej inteligencji (sieci neuronowych) do wsparcia procesów projektowania maszyn, spowodował ich ewolucję do formy, w której nieskomplikowane konstrukcje mechaniczne mogą być w całości zaprojektowane, wyprodukowane oraz skonfigurowane za pomocą skomputeryzowanych systemów decyzyjnych [48, 114].

Badania analizy podobieństwa elementów maszyn oraz stosowania narzędzi teorii informacji<sup>4</sup> pozwalają na tworzenie nowatorskich procesów projektowania maszyn. W nowoczesnych systemach maszynowych (zespołach maszyn, liniach produkcyjnych) operatorzy pracują w odniesieniu do przestrzeni informacyjnej, raczej niż fizycznej [8]. Zwiększa to wpływ i rolę badań prowadzonych nad zwiększeniem możliwości metod komputerowych stosowanych w Mechanice i Budowie Maszyn w praktycznie każdym z jej obszarów [74, 119]. Kolejnym krokiem w rozwoju, wydaje się dalsze usprawnianie procesów mechanicznych w ramach symulowanej rzeczywistości [56]. Ma to na celu zwiększenie nie tylko możliwości poznawczych ale przede wszystkim maksymalizuje zakres syntetycznej wiedzy dostępnej w środowisku komputerowym. Prowadzone są również prace nad modelami generatywnymi, pozwalającymi na w pełni samodzielne podejmowanie decyzji dotyczących projektów konstrukcji mechanicznych przez algorytmy uczenia maszynowego [42].

Równoległe do prac badawczych nad technikami obliczeniowymi, stworzono szereg metod i standardów reprezentacji wiedzy o konstrukcjach mechanicznych [2, 18]. Obecnie, głównym interfejsem interakcji z projektem konstrukcji mechanicznej jest system klasy CAD/CAM<sup>5</sup>. Wektorowy zapis kształtu konstrukcji, pozwala na znaczne ułatwienie procesu tworzenia projektu głównych parametrów elementu maszyny oraz jest naturalną kontynuacją olbrzymiego zbioru wiedzy zawartego w technikach rysunku technicznego. Popularyzacja systemów do modelowania 3D (wsparta ich uniwersalnością i wykroczeniem poza dwuwymiarowy papier) doprowadziła do stanu, w którym obecnie istnieje co najmniej 140 formatów komputerowego, wektorowego zapisu danych trójwymiarowych obiektów fizycznych [3, 27, 54, 70, 89].

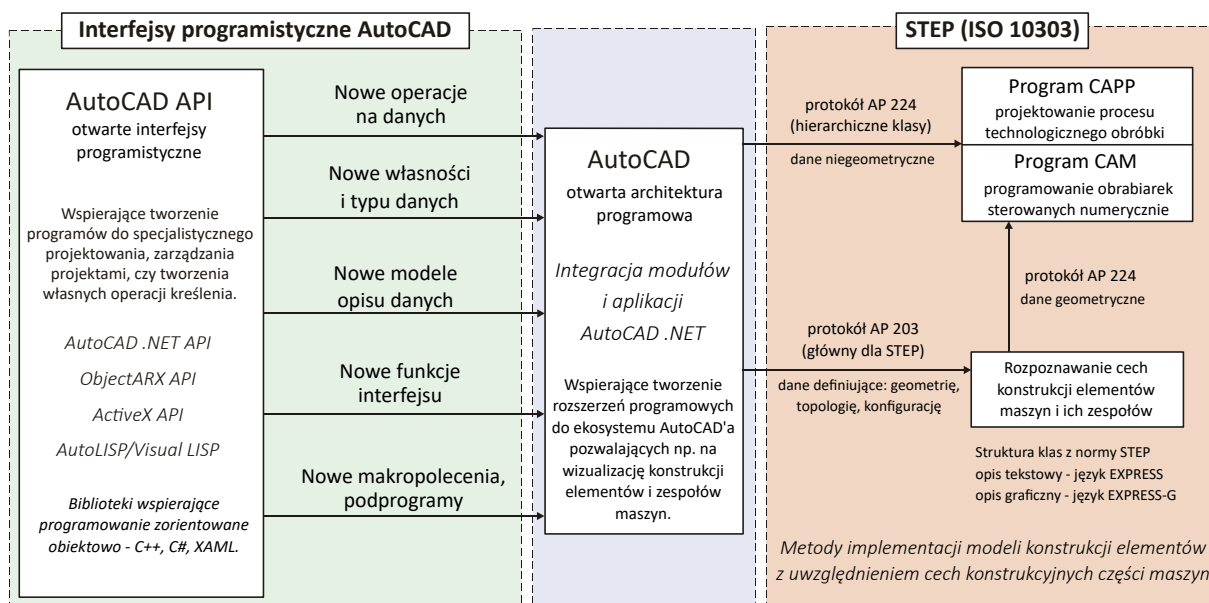
W ramach reprezentacji kształtu części maszyn, obiektów fizycznych, wyróżnić można techniki oparte o zapis wierzchołków, krawędzi, płaszczyzn czy płatów powierzchni. Takie języki zapisu danych konstrukcyjnych, pozwalają na definiowanie brył przy pomocy szeregu różnorodnych technik. Oprogramowanie typu CAD, historycznie związane jest z techniką BREP<sup>6</sup>, uzupełniająca zapis o dodatkowe informacje na temat krawędzi - pozwalające na identyfikację, składanie i rozdzielanie brył. Kolejną, popularną techniką modelowania kształtu trójwymiarowych obiektów jest

---

<sup>4</sup>blisko związana z matematyką dyskretną, dyscyplina zajmująca się problemami przetwarzania i analizy informacji

<sup>5</sup>CAD/CAM - z ang. Computer Aided Design / Computer Aided Manufacturing

<sup>6</sup>z ang. boundary representation



**Rysunek 1.3: Model ekstrakcji cech konstrukcji z programu AutoCAD.** Demonstruje ogólną architekturę przetwarzania danych, pozwalającą na analizę cech konstrukcji zapisanych w formacie AutoCAD.

CSG<sup>7</sup>, pozwalająca na mieszanie podstawowych kształtów przy pomocy podstawowych działań logicznych. Dostępny jest również szereg innych technik opartych o funkcje matematyczne pozwalające na bardzo zwięzłą reprezentację kształtu [47, 89].

Najpopularniejszym obecnie formatem zapisu danych konstrukcji (w zastosowaniach inżynierskich i produkcyjnych), wydaje się być DXF<sup>8</sup> [3]. Jako otwarty format zapisu danych oraz o stosunkowo prostej strukturze, wydawał się on dobrym kandydatem do zapisu danych opisujących badane konstrukcje jak i antywzorców.

Ze względu na szeroki zakres możliwości formatu DXF, w ramach prac prowadzonych w zespole badawczym, zaprojektowany został model z wykorzystaniem przemysłowego standardu ISO 10303 STEP<sup>9</sup>. Pozwala on na zawężenie formatu zapisu danych oraz skonkretyzowanie go na ekstrakcji informacji opisujących cechy konstrukcji mechanicznych [54]. Złożenie DXF z ISO 10303 pozwala na zaprojektowanie modelu pozwalającego na analizę cech konstrukcji mechanicznych (rys. 1.3).

Innym uniwersalnym formatem wymiany danych o zasięgu międzynarodowym był IGES<sup>10</sup>, jednak ze względu na wycofanie go z użycia i zaprzestanie jego rozwoju - nie został on uwzględniony w badaniach.

<sup>7</sup>CSG - z ang. Constructive Solid Geometry

<sup>8</sup>DXF - z ang. Data eXchange Format

<sup>9</sup>STEP - z ang. Standard for the Exchange of Product model data

<sup>10</sup>Initial Graphics Exchange Specification - US PRO/IPO-100-1993, AS 3643.1:1989, AS 3643.2:1992

## 1.2 Metody numeryczne i ich zastosowania

Technologie informatyczne, od początków swojego istnienia umożliwiają wykonywanie złożonych obliczeń inżynierskich oraz naukowych. Pod koniec XX w. stworzono szereg podstaw matematycznych rozwijających algorytmikę oraz techniki informacyjne w kierunku uczenia maszynowego i wielowarstwowych modeli wielomianowych. Już w 1974 roku szukano metod automatycznego grupowania i strukturalizacji danych, tworząc podstawy teorii i metod pozwalających na automatyczną klasyfikację informacji [12]. W szczególności, podjęte zostały prace mające na celu ujednoczenie i syntezę leksykalnych sposobów reprezentacji wiedzy w celu ułatwienia dalszych obliczeń. Stosowane wtedy paradygmaty zapisów, oparte były głównie na modelach proceduralnych. Miało to na celu przede wszystkim zredukowanie ilości pamięci wymaganej do obliczeń oraz zwiększenie ich elastyczności. Stosowane obecnie modele komputerowe łączą wiedzę opisującą fizyczne mechanizmy i procesy zachodzące w świecie rzeczywistym z ich symboliczną reprezentacją wirtualnej i symbolicznej reprezentacji obiektów fizycznych i ich konstrukcji [11].

Rozwój możliwości rozmytego wnioskowania opartego o sztuczne sieci neuronowe, pozwala na coraz lepsze wykrywanie i obliczenia przeprowadzane na ustrukturalizowanych, powtarzających się wzorcach danych [53, 73, 83, 99]. Badania te w połączeniu z postępem wynikającym z funkcjonującego jeszcze w tych czasach prawem Moor'a<sup>11</sup>, pozwoliły na zwiększenie precyzji obliczeń i stworzenie szeregu praktycznych zastosowań komputerów w projektowaniu i symulacji zachowania części maszyn.

W latach 90. ubiegłego wieku, zaobserwować można ogromną ilość badań (w różnych dziedzinach wiedzy) korzystających z możliwości obliczeniowych nowych modeli numerycznych. Zastosowania w Mechanice i Budowie Maszyn można odnaleźć we wczesnych, ogólnych modelach pozwalających na automatyzację procesów diagnostycznych [51]. Wykorzystywane możliwości rozpoznawania powtarzających się, numerycznych wzorców w danych opisujących funkcjonowanie obiektów fizycznych, w kluczowy sposób uzależnione są od jego kształtu. Na podstawie przeprowadzonych badań, stworzone zostały modele pozwalające na symulację zaawansowanych procesów wnioskowania, mutacji kształtów. Dokonano również symbolicznego opisu szeregu procesów inżynierskich (np. projektowania części maszyn). Przedstawione zostały również metody inteligentnego wnioskowania w odniesieniu do jakości fizycznych konstrukcji, obiektów, czy wnioskowania na podstawie geometrii [120].

Nowe metody obliczeniowe (np. mapy Kohonen'a znane ze swoich możliwości w klastrowaniu wielowymiarowych danych), wykorzystywane były z umiarkowa-

---

<sup>11</sup>podwajanie gęstości / kosztu tranzystorów co dwa lata, obecnie zatrzymane na fizycznej granicy wynikającej wielkości atomu i zachodzących w procesorach efektów kwantowych



nymi sukcesami do klasyfikacji kształtów czy identyfikowania obiektów fizycznych [13, 79, 108, 122]. Wraz z pojawieniem się nowych modeli obliczeniowych, uwidoczniła się potrzeba pogłębienia możliwości symbolicznej reprezentacji danych [6, 98]. Prowadzone obliczenia, ze względu na swoje syntetyczne pochodzenie, nie uwzględniają wystarczająco dużo informacji na temat ich kontekstu. Stworzono więc szereg rozwiązań mających na celu dostarczyć fundamentów do budowy komputerowych reprezentacji modeli 3D, a tym samym stworzenie zapisu reprezentacji świata fizycznego w sposób bardziej kompletny.

Ułatwienia w reprezentacji wiedzy wynikające z technik programowania obiektowego, pozwalają na tworzenie zaawansowanych modeli komputerowych, pozwalających na tworzenie nieosiągalnych wcześniej (ze względu na ich złożoność) systemów maszynowo produkcyjnych [1].

Od ostatniej dekady ubiegłego wieku, zaobserwować można znaczny wzrost ilości zastosowań metod numerycznych w Mechanice i Budowie Maszyn. Rozwijane były techniki pomiarowe [49, 85], jak również stworzone zostały modele klasyfikacji elementów maszyn na podstawie ich podobieństwa [101, 102] oraz symbolicznego opisu kształtu, czynności i relacji zachodzących pomiędzy cechami obiektów fizycznych [97].

Po kilku dekadach pracy nad symboliczną reprezentacją danych, możliwe jest tworzenie w miarę kompletnych modeli reprezentacji informacji opisujących części maszyn. Pozwalają one na transformację wiedzy eksperckiej do formy symbolicznej, tak aby mogła ona być przetwarzana i stosowana z użyciem technik informacyjnych [14].

Równolegle, postęp w ramach rozmytego wnioskowania i ogólnie obliczeń opartych o niekompletne dane, znacznie zwiększył ilość dostępnych modeli obliczeniowych [128]. Dostępne wcześniej algorytmy analizy ustrukturalizowanych danych, rozszerzane są o możliwości klastrowania [110] czy bardziej precyzyjnego rozpoznawania struktur w zapisach komputerowych [82].

Pod koniec pierwszej dekady bieżącego wieku rozpoczęto prace nad klastrowaniem danych na podstawie podobieństwa cech i ich struktury [141]. Metody te, pomimo tworzenia nowych możliwości analizy struktury danych, charakteryzują się jednak dużym poziomem syntetyczności - nie uwzględniają funkcji poszczególnych węzłów ani ich cech. Dostępny jest bardzo szeroki zakres możliwości analizy numerycznej danych, a rozpoznawanie powtarzających się wzorców symbolicznych danych jest obecnie jednym z fundamentów nowoczesnych modeli informacyjnych [9]. Dodatkowo, prowadzone są analizy możliwości i technik pozwalających na wnioskowanie z wykorzystaniem niepewnych, niekompletnych informacji [46].

W drugiej dekadzie XXI wieku zaobserwować można szybki rozwój technik informacyjnych mających na celu analizę konkretnych procesów mechanicznych [106], obiektów fizycznych [139], kształtów, modeli 3D [31, 140], bezpośrednio wynikają-

cych z poszerzonych możliwości analizy struktury danych [30]. Dostępna jest znaczna ilość informacji akademickich, naukowych, mających na celu popularyzację technik informacyjnych i ułatwienie ich stosowania w innych dziedzinach wiedzy [67]. Prowadzone badania wskazujące nowatorskie kierunki zastosowań modeli neuronowych, wskazują na możliwość opracowania syntetycznych wskaźników jakości struktur geometrycznych w oparciu o złożenie ich cech [40].

O ile precyzja możliwości klasyfikacyjnych jest jeszcze przedmiotem dyskusji, to widoczny jest spektakularny postęp stymulowany technikami informacyjnymi w praktycznie wszystkich obszarach nauki. Ze względu na złożony charakter obliczeń i proponowanych modeli, dopiero obecnie odkrywane są źródła ich możliwości, skala precyzji i rodzaje zaobserwowanych problemów oraz ograniczeń [68].

### 1.3 Problemy oceny jakości

Nauka od stuleci zajmuje się oceną sposobu realizacji przypisanych im funkcji przez obiekty fizyczne. Ze względu na popularność problematyki, dostępne są bardzo wartościowe zbiory prac naukowych, omawiających nowoczesne problemy badawcze oraz rozwiązania stosowane w celu oceny jakości konstrukcji mechanicznych [34, 135]. Badania przeprowadzone w obszarze analizy jakości części mechanicznych umożliwiają coraz pełniejszą automatyzację procesu symulacji zachowania mechanizmów, a także metod pozyskiwania danych do badań i interpretacji jakościowej [45, 93, 94]. Stworzone zostały również metody skomputeryzowanej identyfikacji i analizy czynników determinujących jakość produkowanych części mechanicznych [38, 39, 44].

Dostępne są modele, pozwalające na wnioskowanie diagnostyczne na podstawie struktury i zachowania obiektów [19, 20, 133], jak również znane są metody użycia informacji powstałych w procesie projektowania mechanizmów na potrzeby automatycznej weryfikacji ich jakości [43, 75]. Modele te pozwalają na identyfikację czynników bezpośrednio związanych z jakością funkcjonowania elementów maszyn, we wszystkich etapach ich eksploatacji.

Dostępne są również badania rozszerzające analizę jakości, o nowatorskie procesy pozwalające na wnioskowanie i interpretację danych uzyskanych z obserwacji i pomiarów konstrukcji i obiektów fizycznych [33, 35–37, 80]. Badania nad możliwościami symulacyjnymi modeli matematycznych i fizycznych, wskazują nowatorskie możliwości wynikające z stosowania innowacyjnych technik i modeli matematycznych używanych do oceny realizacji zadanej funkcji przez testowany obiekt [76–78].

Możliwość wnioskowania o jakości części mechanicznych na podstawie danych, liczb opisujących ich cechy, przestało być wyłączną domeną ludzi [129]. Już w latach 80. ubiegłego wieku tworzone były programy komputerowe weryfikujące popraw-

ność projektowanych konstrukcji [5]. Nadal jednak wyzwaniem jest brak uniwersalnej płaszczyzny referencyjnej, wobec której jakość może być zdefiniowana w replikowalny i uniwersalny sposób. Ograniczenie to, pomimo uniwersalnej natury obliczeń matematycznych i fizycznych, skutkuje niskimi możliwościami przenoszenia tworzonych modeli pomiędzy konstrukcjami [22, 91, 137]. Oczywiście istnieje szereg proponowanych rozwiązań tego problemu, gdzie badane są sposoby symbolicznej reprezentacji wiedzy na potrzeby definiowania problemów mechanicznych i weryfikacji proponowanych rozwiązań [21, 24, 92, 113, 134, 138].

Dostępne są również modele oparte o wiedzę ekspercką oraz zwaną potocznie „zdrowym rozsądkiem”. Pozwalają one, poprzez usystematyzowane dobieranie parametrów decyzyjnych, zautomatyzować część eksperckiej wiedzy inżynierskiej wcześniej niedostępnej w obliczeniach komputerowych [104, 111].

Interesującym (z punktu widzenia prowadzonych badań) wydaje się problematyka wnioskowania na temat przyczyn zachowania urządzeń mechanicznych. Dotychczas zaprojektowane zostały symboliczne modele arytmetyczne oraz algorytmiczne pozwalające na zautomatyzowaną analizę geometrii i właściwości kinetycznych obiektów fizycznych [41, 55, 57, 131, 132, 136]. Jako kluczowe czynniki pozwalające na analizę struktury konstrukcji mechanicznych, wskazywany jest w nich deklaratywny opis konstrukcji, połączony z elastyczną, proceduralną symulacją kauzalizmu<sup>12</sup> [26, 105].

### 1.3.1 Analiza porównawcza

Analiza jakości - przewidująca zmiany konstrukcji mechanicznej w czasie, jest oczywiście fundamentalnym typem wnioskowania o jakości obiektów fizycznych. Mimo tego, inne badane formy wnioskowania prezentują równie istotne możliwości oceny pracy mechanizmów. Pozwalają one między innymi na przewidywanie nieprawidłowego zachowania na podstawie wartości kluczowych cech konstrukcji [129].

Istotnym czynnikiem wyróżniającym problematykę porównywania funkcjonowania mechanizmów o zadanych parametrach, jest potrzeba dekompozycji ich struktury i badanie relacji zachodzących pomiędzy jej elementami. Kluczowym elementem mającym wpływ na podobieństwo czynników definiujących kauzalizm funkcjonowania konstrukcji mechanicznych, są różnice pomiędzy cechami i strukturą porównywanych elementów składowych mechanizmu [109].

Oczywistą konkluzją wynikającą z obserwacji pracy konstrukcji mechanicznych jest istnienie bezpośredniego powiązania pomiędzy kształtem poszczególnych ich elementów, a funkcją którą realizują. Analiza relacji występujących bezpośrednio pomiędzy częściami mechanizmów, pozwala na symulowanie jego zachowania [58]. Obser-

<sup>12</sup>przewidywalnej zależności pomiędzy przyczyną a skutkiem

wowany kauzalizm w świecie rzeczywistym, może być więc powiązany z syntetycznymi obliczeniami prowadzonymi wyłącznie w przestrzeni symbolicznej [23].

Powiązanie funkcji (np. rezultatu procesów kinetycznych) danego obiektu z jego kształtem jest jednak tylko jednym z czynników definiujących jakość maszyny. Wartość reprezentująca jakość konkretnej konstrukcji mechanicznej jest wynikiem pewnego uproszczenia opisu konsekwencji jej funkcjonowania w odniesieniu do jej funkcji i oczekiwanych wyników. Formalne metody wnioskowania o jakości obiektów fizycznych pozwalają na uwzględnienie wielu cech konstrukcyjnych, produkcyjnych, czy projektowych w automatycznej ocenie konstrukcji mechanicznych [10, 29, 87].

### 1.3.2 Antywzorce

Antywzorce, jako innowatorski kierunek rozwoju nauki, zostały po raz pierwszy wprowadzone do literatury naukowej w ostatniej dekadzie ubiegłego wieku<sup>13</sup> [71]. Istnieje jednak stosunkowo niewielka ilość źródeł i dotychczas przeprowadzonych badań naukowych, które analizowałyby rolę, występowanie, lub sposoby ich stosowania. Błędne rozwiązania, oprócz swojej oczywistej roli poznawczej charakteryzują się obniżonym poziomem udokumentowania ze względu na ich tymczasowość oraz pozorny brak roli w procesie uzyskania rozwiązania prawidłowego. W szczególności, poza źródłami wywodzącymi się z Wydziału Mechanicznego Politechniki Koszalińskiej, brakuje badań nad antywworcami w Mechanice i Budowie Maszyn.

Pierwsze antywzorce zidentyfikowane zostały w informatyce, gdzie ze względu na syntetyczną naturę reprezentacji informacji, procesów, stosunkowo łatwo jest zauważyć zalety płynące z propagowania wiedzy na temat powtarzających się, błędnych struktur danych, lub konfiguracji komputerów [16, 72, 84]. Antywzorce są też identyfikowane i analizowane w odniesieniu do struktur organizacyjnych i sposobu przetwarzania informacji w organizacjach [15]. Wskazuje to ich uniwersalną naturę i możliwość przeniesienia koncepcji antywworca pomiędzy różnymi dziedzinami wiedzy. W każdym z zaobserwowanych zastosowań, użycie wiedzy zawartej w antywworcach ma na celu zwiększenie jakości poprzez uniknięcie stosowania błędnego rozwiązania w końcowej strukturze (np. danych, kodu źródłowego, organizacji pracy, postawie pracownika, konfiguracji programu).

W ramach badań prowadzonych w Katedrze Systemów Technicznych i Informatycznych, tematyka antywworców została po raz pierwszy zastosowana w szeregu publikacji wskazujących potencjał wynikający z zastosowania antywworców oraz proponujący ich klasyfikację w oparciu o źródło nieprawidłowości [59, 62, 63, 65].

<sup>13</sup>Pierwsze opisane dyskusje wskazują na 1993 rok.

## 1.4 Wnioski z analizy literatury

Antywzorce, są nowatorskim kierunkiem badań tworzącym wartościowe uzupełnienie istniejących modeli oceny jakości. Mimo tego, nie badano dotychczas ich zastosowań w Mechanice i Budowie Maszyn. Nie pojawiły się one również jako jawny i podstawowy element badań prowadzonych nad oceną jakości konstrukcji mechanicznych, systemów fizycznych czy rozmytych modeli oceny podobieństwa części maszyn.

W odróżnieniu od pierwszej metody zaproponowanej w zespole badawczym [62], jako główny model klasyfikacyjny przyjęto funkcję mechanizmu. Konkluzja ta wynika z założenia, że to funkcja spełniana przez zadaną konstrukcję jest czynnikiem stałym, a jej kształt czy przyczyna jest czynnikiem zmiennym, będącym pewnego rodzaju objawem czy symptomem rozwiązania konstrukcyjnego [121]. Zaobserwowano również podobne metody manualnej klasyfikacji części maszyn w polskiej nauce [112], pozwalające na użycie już istniejących informacji do opisu cech konstrukcyjnych, poddanej dekompozycji metodą obiektów elementarnych struktury mechanicznej [90].

Konkludując analizę istniejących formatów zapisu, należy wskazać ich związek z technikami wektorowymi tworzącymi abstrakcyjne formy symbolicznej reprezentacji opisu kształtu poszczególnych części mechanizmu. Brakuje w nich dodatkowych informacji opisujących cechy konstrukcyjne (dostarczających kontekst informacyjny umożliwiający analizę), danych relacji zachodzących pomiędzy częściami konstrukcji czy klasyfikacji części składowych struktury pozwalających na analizę jej jakości.

Obserwując problemy w ustaleniu spójnego formatu symbolicznego zapisu obiektów fizycznych [89] oraz podejmowane próby redukcji ograniczeń zapisu wektorowego i uwzględnienia szerszego kontekstu danych opisujących cechy konstrukcji mechanicznych, wydaje się zasadnym stworzenie symbolicznego zapisu pozwalającego na znaczne uproszczenie prac nad analizą cech antywzorców. Aby wesprzeć prace nad nową formą zapisu symbolicznego, analizie poddano również wiedzę i literaturę z zakresu komputerowej reprezentacji wiedzy i wnioskowania [14], powszechnie wykorzystywanych, dobrych wzorców projektowania języków programowania [96] oraz wskazówki dotyczące ułatwień pozwalających na łatwiejsze przyswojenie zapisu [95].

Obecnie, komputery i technologie informacyjne tworzą swoistą warstwę komunikacyjną pomiędzy ludźmi a maszynami. Wartość tworzonych modeli naukowych funkcjonujących w przestrzeni informacyjnej można uzależnić od ich uniwersalności (zakresu możliwości stosowania) i ogólnie pojętej użyteczności w praktyce. Badania nad antywzorcami, pozwalają na wprowadzenie do nauki nowej koncepcji, która ze względu na swój multidyscyplinarny charakter, może służyć jako uniwersalna podstawa teoretyczna, uzupełniająca modele numeryczne o negatywną referencję jakości.

Techniki dekompozycji struktury konstrukcji na części spełniające określone funk-

cje mechaniczne [121], cechują się łatwością w zrozumieniu wynikającą z ich bezpośredniego związku z formami leksykalnymi używanymi do reprezentacji elementów maszyn. Pozwala to na ponowne wykorzystywanie informacji opisujących wybrany element, a tym samym na używanie antywzorcowych części w analizie innych konstrukcji, które mogłyby tego typu elementy zawierać.

Antywzorcy jako referencja jakościowa, pozwalają na utrzymanie otwartego zbioru potencjalnych rozwiązań. Odwrotnie jest przy porównywaniu testowanych elementów do wyidealizowanych wzorców, gdzie zbiór dopuszczalnych rozwiązań jest znacznie zawężony. Cecha ta pozwala projektantom maszyn, uzyskać wsparcie komputera bez wprowadzenia dodatkowego ograniczenia dla ludzkiej kreatywności. Ponadto, wraz z kumulacją powszechnie dostępnej wiedzy dotyczącej złych, powtarzających się konstrukcji mechanicznych, można oczekiwać podwyższenia dolnej granicy jakości tworzonych konstrukcji mechanicznych.

Wszystkie z przeanalizowanych modeli wymagają dostosowania, tak aby mogły one być użyte do automatycznej klasyfikacji i syntezy danych opisujących konstrukcje mechaniczne. Opisując możliwości klasyfikacji (oceny podobieństwa, ustalenia odległości) cech konstrukcji mechanicznych, warto zwrócić uwagę na unikalność zaobserwowanych możliwości rozpoznawania wzorców w nowych modelach neuronowych takich jak ConvNet oraz CapsNet [9, 67, 107].

Nowatorskie techniki analizy informacji umożliwiły obserwowany powszechnie postęp w zwiększaniu precyzji obliczeń modeli neuronowych, jednak nie były dostępne w ubiegłym wieku na potrzeby prowadzonych wtedy badań podobieństwa konstrukcji mechanicznych. Zalety nowych algorytmów wynikają z nowatorskich rozwiązań takich jak przesuwające się okno konwolucji czy routing kapsułowy. Wydaje się zasadnym porównanie i zweryfikowanie czy te nowe techniki obliczeniowe, dostarczają nowych możliwości w porównaniu do wcześniejszych sieci neuronowych jak sieci Hopfielda, Hamminga oraz prostych modeli algebraicznych.

# Rozdział 2

## Cel, tezy i zakres pracy

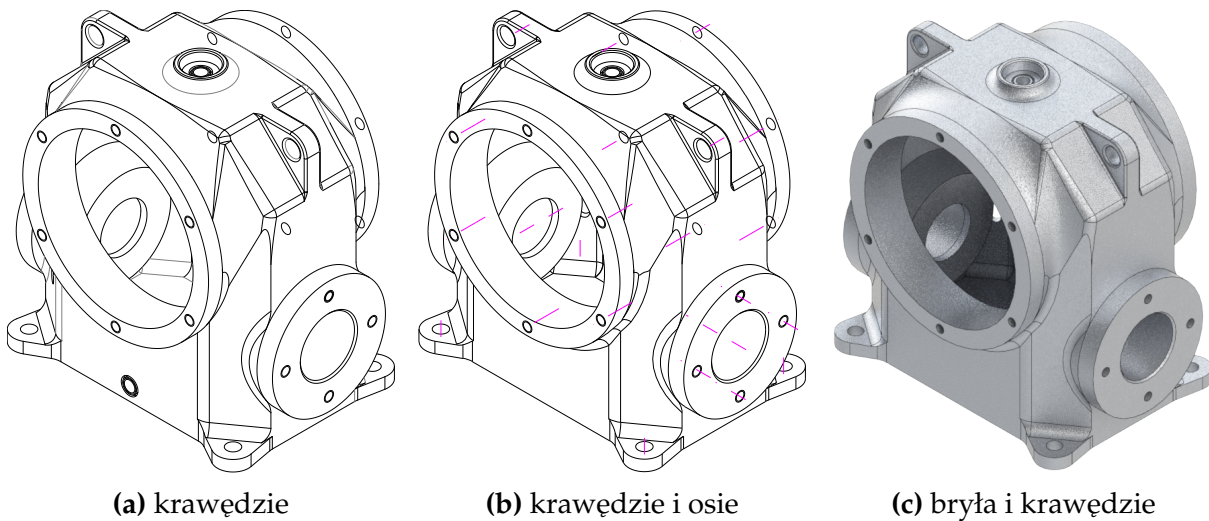
### 2.1 Geneza pracy

Prace badawcze opisane w niniejszej rozprawie doktorskiej, wywodzą się z badań prowadzonych w Katedrze Inżynierii Systemów Technicznych i Informatycznych w ramach projektu Narodowego Centrum Nauki - UMO-2012/05/B/ST8/02802.

Nadany badaniom kontekst uwzględnia nowatorskie rozwiązania w realizacji procesów w warunkach niepewności i niepowtarzalności zadań i informacji. W ramach tego projektu badawczego, antywzorce projektowe zostały użyte jako ograniczenie dla kreowania rozwiązań obarczonych błędami. Zastosowanie antywzorców w nowatorskich metodach komunikacji z maszynami, pozwoliło na uwzględnienie wiedzy eksperckiej jako niejawnego czynnika zdefiniowanego w symbolicznych antywzorcach konfiguracji zadań wykonywanych przez maszynę [59].

Również w ramach tego projektu badawczego, stworzone zostały naukowe podstawy do wyznaczania cech konstrukcyjnych dla wybranej klasy urządzeń z zastosowaniem sztucznych sieci neuronowych. Znaczne zainteresowanie wynikami projektu sugerują rozwój nowej tematyki badań podstawowych - w dziedzinie inteligentnych metod wspomagania procesów projektowania. Jako naturalna kontynuacja prowadzonych badań, niniejsza praca oparta jest na szeregu wcześniejszych obserwacji:

- możliwa jest redukcja czasu projektowania i oceny elementów maszyn poprzez wykonanie jej możliwie wcześniej - dopuszczając analizę niekompletnych danych przekazanych do obliczeń,
- proponowanie zmian w projekcie i wykrywanie błędów jest istotnym wsparciem dla projektantów elementów maszyn,
- potrzebne jest rozszerzenie zakresu stosowanych technik numerycznych w procesach projektowania konstrukcji mechanicznych.



**Rysunek 2.1:** Niekompletne wizualizacje korpusu przekładni ślimakowej

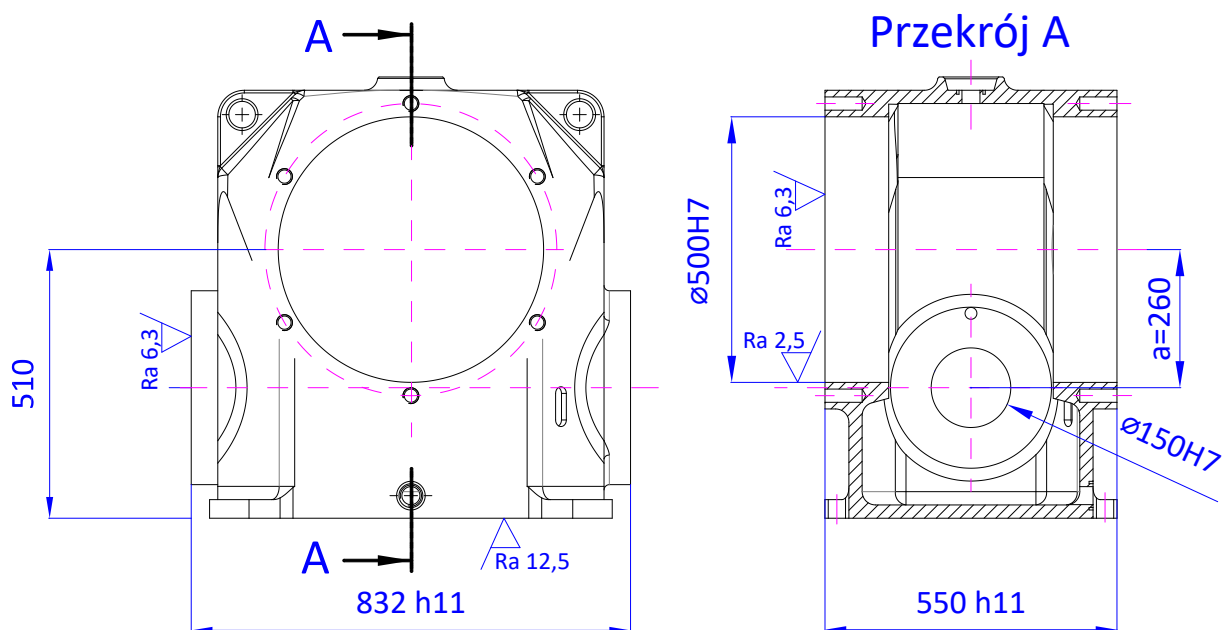
Dodatkowo, analizując dostępne materiały badawcze, widoczna staje się potrzeba rozszerzenia możliwości analizy struktury konstrukcji mechanicznych z wykorzystaniem nowatorskich technik informacyjnych (np. uczenia maszynowego). Jednym z kluczowych problemów, jest przewyższenie braków modeli symulacyjnych pozwalających na pracę z niekompletnymi informacjami.

Przykładowo, możliwe jest przedstawienie ogólnej koncepcji korpusu przekładni ślimakowej (rys. 2.1a) za pomocą komputerowego zapisu wektorowego i przedstawienie go w niewymiarowanym formacie wizualizacji. Mimo formalnych braków w informacjach zawartych w prezentowanym zapisie komputerowym konstrukcji, doświadczony konstruktor jest w stanie dokonać zgrubnej oceny zastosowanych rozwiązań konstrukcyjnych i wskazać błędne cechy konstrukcji.

Ocena prawidłowości konstrukcji opisanej w sposób aż tak niekompletny (rys. 2.1a) wydaje się ciągle domeną wyłącznie ludzi, jednak ciągle rozwijające się możliwości komputerów w interpretacji danych wizualnych pozwalają sądzić, że również ta bariera zostanie niedługo przekroczone [31]. W odróżnieniu od tematyki rozpoznawania obrazów, niniejsza praca oparta jest na analizie numerycznej wartości cech konstrukcji. Nawet trywialne rozszerzenie zakresu informacji prezentowanych w formacie rysunku technicznego (umieszczenie oznaczenia osi na rys. 2.1b) w porównaniu do wcześniejszej wizualizacji z rys. 2.1a - znacznie poszerza zakres zrozumienia konstrukcji przez człowieka.

Informacja o osiach otworów oczywiście jest też istotna w analizie komputerowej, jednak należy podkreślić oczywiste ograniczenia wynikające z prób wizualnej analizy konstrukcji mechanicznych (wynikające ze znacznej ilości informacji ukrytych). Możliwe ekstrapolacje struktury wskazywane w bieżących badaniach, nadal nie pozwalają





Rysunek 2.2: Niekompletnie zwymiarowany korpus przekładni ślimakowej

na analizę jedynie wizualnie przedstawionych elementów (np. rys. 2.1c). Bez dostępu do konkretnych wartości konstrukcyjnych i danych opisujących ich strukturę wydaje się, że metody obliczeniowe analizujące mierzalne wartości cech konstrukcji, pozwalają na bardziej precyzyjne zdefiniowanie antywzorców.

Już podstawowe informacje będące opisem wymiarów części lub chropowatości powierzchni (rys. 2.2) zawierają wystarczającą ilość wartościowych danych na potrzeby wykrywania błędów konstrukcyjnych oraz definiowanie antywzorców. Uwidacznia się tu również potrzeba odnalezienia efektywnej reprezentacji informacji opisującej strukturę i funkcję poszczególnych obiektów elementarnych konstrukcji, tak aby umożliwić dalsze obliczenia z uwzględnieniem kontekstu nadanego przez strukturę elementów. Informacja o dopuszczalnej chropowatości może być oceniana pod kątem jej jakości, dopiero po umieszczeniu jej w kontekście funkcji elementu i często jego umiejscowieniu w konstrukcji mechanizmu. Podobnie, rozmieszczenie i średnica ślimaka i ślimacznicy, wymagają zawarcia w opisie i analizie konstrukcji informacji nadającej kontekst funkcjom realizowanym przez poszczególne części.

### 2.1.1 Uzasadnienie wyboru tematu pracy

Moja osobista motywacja do przeprowadzenia badań w tym obszarze wynika z zainteresowania rolą i ewolucją struktur danych, informacji oraz technik, które używamy do komunikacji pomiędzy ludźmi a maszynami. Antywzorce są istotnym elementem, który należy wprowadzić do kanonu nauki poprzez prace wskazujące ich podstawowe

zastosowania oraz definiujące podstawy naukowe do dalszych badań.

Temat pracy został dobrany tak, aby wyniki prowadzonych badań mogły być wykorzystane w możliwie szerokim zakresie zastosowań zarówno naukowych jak i przemysłowych. Uniwersalna natura koncepcji antywzorców pozwala sądzić, że opracowana metodyka tworzy dodatkowe możliwości i redukuje koszty projektowania szeroko pojętych części mechanicznych. Popularyzacja koncepcji antywzorców jako negatywnej referencji jakości, ma na celu podniesienie dolnej bariery jakości tworzonych projektów przez dostarczenie metod pozwalających na uniknięcie powtarzających się, nietrywialnie nieprawidłowych konstrukcji części maszyn.

Na podstawie przeprowadzonej analizy literatury i wyników wstępnych badań, aby zwiększyć możliwości uwzględnienia wielowymiarowego charakteru informacji opisujących antywzorce - uzupełniono temat pracy badawczej o modele neuronowe, pozwalające na obliczenia w oparciu o wielowymiarowe dane.

## 2.2 Schemat i zakres pracy badawczej

### 1. Analiza podstaw naukowych na potrzeby prowadzonych badań nad zastosowaniami antywzorców i oceną konstrukcji elementów maszyn.

Prace badawcze należy rozpocząć od odnalezienia podstaw naukowych, o które można oprzeć dalsze badania. Zakres analizowanej tematyki, oparto o zautomatyzowane i interaktywne procesy projektowania konstrukcji mechanicznych<sup>1</sup>.

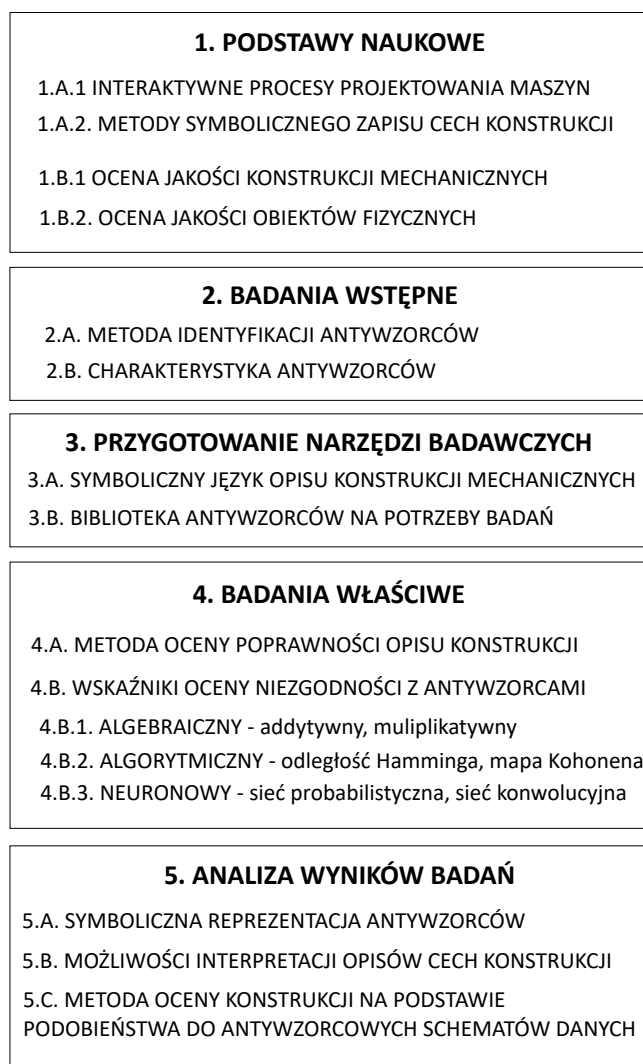
Dodatkowymi obszarami nauki, które należy uwzględnić w badaniach są problemy oceny jakości konstrukcji mechanicznych oraz zastosowania metod numerycznych do tworzenia złożonych modeli matematycznych. W szczególności, aby skupić się na kluczowych elementach umożliwiających porównywanie części maszyn, niniejsza analiza ma na celu wskazanie nowatorskich metod, pozwalających na przekroczenie zaobserwowanych wcześniej barier i problemów wynikających ze złożoności analizy projektów konstrukcji mechanicznych.

### 2. Analiza charakterystyki antywzorców i opracowanie metody ich identyfikacji.

Ze względu na nowatorski charakter antywzorców w Mechanice i Budowie Maszyn, wydaje się zasadnym zbadanie możliwości przeniesienia koncepcji ich z innych dziedzin nauki i stworzenie metody pozwalającej na identyfikowanie, definiowanie, tworzenie i opisywanie antywzorcowych konstrukcji. Wymagane jest również stworzenie podstaw leksykalnych, nadających jednoznaczne znaczenie i kontekst pojęciom takim jak: antywzorzec konstrukcyjny oraz antywzorcowa cecha konstrukcji.

---

<sup>1</sup>w oparciu o prace prowadzone przez naukowców Wydziału Mechanicznego Politechniki Koszalińskiej oraz raporty i wyniki polskich oraz międzynarodowych badań



**Rysunek 2.3:** Schemat pracy badawczej

### **3. Zdefiniowanie języka opisu konstrukcji mechanicznych i stworzenie biblioteki antywzorców dla określonych typów elementów konstrukcyjnych.**

Stworzone podstawy opisu i definiowania antywzorców, pozwalają na opracowanie szeregu nietrywialnie błędnych konstrukcji mechanicznych. Pomimo szeroko zakrojonych poszukiwań, nie udało się odnaleźć jednolitego zbioru błędnych rozwiązań konstrukcyjnych. Firmy, naukowcy, dydaktycy, ani nawet studenci nie mają w zwyczaju przechowywać ani analizować swoich błędnych projektów części maszyn. Oprócz kolejnego potwierdzenia nowatorskości podjętych prac, znacznie utrudnia to prowadzenie dalszych badań. Z tego powodu stworzony został referencyjny zbiór antywzorców konstrukcyjnych dla korpusów przekładni ślimakowych zawierający szereg błędów o różnym stopniu złożoności i pochodzeniu. W szczególności, istotne jest stworzenie antywzorców pozwalających na zbadanie możliwości wykrywania takich cech konstrukcji, które wywodzą się z relacji zachodzących w jej strukturze oraz uzależnio-

nych bezpośrednio od funkcji spełnianej przez dany obiekt elementarny.

#### **4. Opracowanie wskaźników oceny niezgodności rozwiązań z antywzorcami oraz wskazanie metody oceny poprawności opisu konstrukcji mechanicznej.**

Utworzony zbiór antywzorców należy zapisać w ustrukturalizowanej formie symbolicznej, tak aby umożliwić porównanie technik stosowanych przez badane modele matematyczne. Szczególnie istotna jest możliwość interpretacji i uwzględnienie w obliczeniach informacji opisujących strukturę konstrukcji mechanicznej oraz przypisaną jej funkcję.

#### **5. Weryfikacja opracowanej metodyki za pomocą metody oceny konstrukcji na podstawie jej podobieństwa do wybranych problemów konstrukcyjnych.**

Ostatnim elementem prowadzonych prac badawczych, jest stworzenie metody pozwalającej na porównywanie podobieństwa części i struktury ocenianej części mechanicznej z biblioteką antywzorców. Podobieństwo do antywzorców pozwala na ocenę konstrukcji oraz wskazanie antywzorcowych cech, które należy wyeliminować aby element mógł być pozbawiony znanych, powtarzających się wad.

## **2.3 Cel rozprawy doktorskiej**

Prace badawcze opisane w niniejszej rozprawie doktorskiej, zostały podjęte w celu analizy zasadności i możliwości stosowania antywzorców i modeli neuronowych do wspierania projektowania maszyn.

Potrzeba wielowymiarowego opisu cech konstrukcji mechanicznych będących antywzorcami, znacznie zwiększa złożoność obliczeń wymaganych do stworzenia w pełni funkcjonalnego i deterministycznego modelu obliczeniowego (pozwalającego na porównanie symbolicznych opisów antywzorców). W celu doprecyzowania efektywnego zakresu rozprawy doktorskiej, wskazane zostały modele neuronowe, jako rodzaj metod obliczeniowych pozwalających na prowadzenie obliczeń na niekompletnych oraz wielowymiarowych danych.

### **2.3.1 Problemy naukowe wymagające rozwiązania**

Na podstawie przeprowadzonej analizy literatury i ogólnego rozpoznania obszaru prowadzonych prac badawczych, wyznaczono kluczowe problemy naukowe wymagające szczególnej uwagi w prowadzonych badaniach.

#### **1. Zdefiniowanie kryteriów klasyfikacji w odniesieniu do funkcji i cech elementu.**

Najistotniejszym czynnikiem definiującym te badania jest problematyka klasyfikacji elementów maszyn w odniesieniu do spełnianej przez nie funkcji. Wynika to zarówno z natury antywzorców (bardzo odmiennych nieprawidłowości w spełnianiu

jednakowej funkcji), jak i z potrzeby grupowania rozwiązań tak aby można było je wymiennie porównać. Prawidłowo zdefiniowana klasyfikacja części mechanicznych pozwala na tworzenie grup konstrukcji spełniających tą samą funkcję (np. korpusów przekładni ślimakowych, wałów napędowych) oraz na grupowanie fragmentów tych konstrukcji (np. wpust, ożebrowanie).

Pozwala to na zaobserwowanie różnic występujących pomiędzy poszczególnymi projektami maszyn w wartościach cech konstrukcyjnych, których syntetyczny opis ma zostać użyty w przeprowadzanych obliczeniach klasyfikacji podobieństwa.

## **2. Opracowanie metody badania podobieństwa do antywzorców w oparciu o techniki klasyfikacji danych.**

Również problematyka podobieństwa elementów spełniających tą samą funkcję (np. łączy mechanicznych) wymaga pogłębienia. Wymagane jest stworzenie i porównanie możliwości co najmniej kilku modeli numerycznych pozwalających na porównanie wielowymiarowych, symbolicznych zapisów cech konstrukcji. Szczególnie istotna jest ocena zakresu informacji konstrukcyjnych uwzględnionych w technikach testowanych modeli obliczeniowych.

## **3. Analiza czynników oraz zależności definiujących podobieństwo konstrukcji mechanicznych.**

Z analizy literatury wynika, że to zależności występujące w strukturze opisującej konstrukcję są elementem tworzącym swoistą eksplozję złożoności i znacznie utrudniającym zastosowania tradycyjnych modeli porównawczych. Modele neuronowe, dostarczają narzędzi matematycznych pozwalających na pracę z tego typu danymi i prawdopodobnie też możliwość wykrywania niejawnych wzorców w danych.

## **4. Wybór i normalizacja wielkości wejściowych reprezentujących cechy konstrukcyjne i strukturę konstrukcji.**

Sposób konstrukcji i jakość funkcjonowania obliczeń w tworzonych metodach uzależniona jest bezpośrednio od wyboru i normalizacji wejściowych wartości (zapisów cech konstrukcji). Stworzenie symbolicznego zapisu cech konstrukcji pozwala na uniknięcie szeregu problemów w komputerowym przetwarzaniu tradycyjnych zapisów konstrukcyjnych (i.e. rysunku technicznego). Nowa metoda zapisu cech konstrukcji ma umożliwić stworzenie uniwersalnego zbioru badanych antywzorców, który poddawany będzie normalizacji na potrzeby każdego z modeli matematycznych.

## **5. Opracowanie metody oceny poprawności konstrukcji na podstawie jej podobieństwa do antywzorców.**

Rozwiązanie wskazanych powyżej problemów naukowych, ma za zadanie umożliwić stworzenie metody oceny poprawności konstrukcji mechanicznych na podstawie podobieństwa do antywzorców. Utworzenie tej metody ma za zadanie wskazać wartościowe i poddające się ocenie, zastosowanie antywzorców i modeli neuronowych.

## 2.4 Tezy rozprawy doktorskiej

1. Ocena konstrukcji elementów maszyn z użyciem modeli neuronowych i antywzorców, może być przydatna do weryfikacji poprawności projektowanych elementów bez ograniczania przestrzeni poszukiwań rozwiązań.
2. Opracowanie i zastosowanie antywzorców projektowych we wspomaganiu procesów innowacyjnego projektowania, pozwala na redukcję przestrzeni możliwych złych rozwiązań konstrukcyjnych.
3. Zastosowanie opracowanej metodyki zapisywania projektów konstrukcyjnych w postaci symbolicznej (z wykorzystaniem stworzonego, obiektowego języka), pozwala na automatyzowanie procesów projektowania oraz dokonywanie analiz konstrukcji (pod względem zarówno poprawności, spełniania norm i ustalonych kryteriów, jak również optymalności rozwiązań).

## 2.5 Zakres pracy

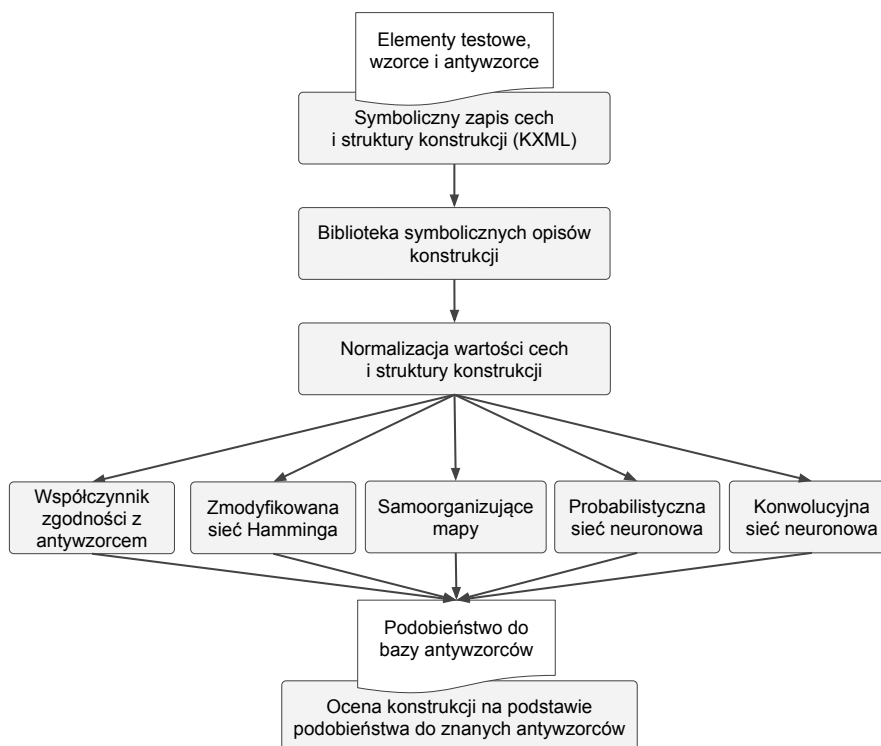
Sposób wykorzystania modeli obliczeniowych można porównać do działania, które jako dane wejściowe przyjmuje testowane konstrukcje mechaniczne i zbiór antywzorców, a jako wynik dostarcza informacji o podobieństwie testowanego elementu do znanych antywzorców. Działanie to pozwala na ocenę konstrukcji z użyciem antywzorców i pozwala na eliminację złych rozwiązań projektowych.

Należy wskazać nowatorskie czynniki, pozwalające na rozpoczęcie stosowania antywzorców w analizie konstrukcji mechanicznych. W ramach prowadzonych badań, należy również stworzyć i przeanalizować szereg modeli pozwalających na obliczenia i klasyfikację wartości cech konstrukcyjnych. Modele te mogą stanowić podstawę naukową do potwierdzenia możliwości stosowania antywzorców do wsparcia procesów projektowania maszyn.

Na podstawie dyskusji i prac prowadzonych w zespole badawczo-dydaktycznym oraz w odniesieniu do analizy literatury, wyselekcjonowano następujące modele:

- *algebraiczne* - model sumacyjny i multiplikacyjny
- *algorytmiczne* - odległość Hamminga oraz samo-organizujące się mapy
- *sieci neuronowe* - sieć probabilistyczna i konwolucyjna

Każdy z wskazanych modeli, wymaga innego formatu danych wejściowych oraz zmiany sposobu interpretacji wyników. Należy stworzyć więc wspólny, symboliczny



**Rysunek 2.4:** Schemat oceny konstrukcji mechanicznych

sposób opisu cech konstrukcji mechanicznych, tak aby uwidocznili wszelkie dodatkowe wymagania i możliwości weryfikowanych modeli.

W trakcie prowadzonych prac, analizie poddany został model multiplikacyjny, jednak mimo jego oczywistych zalet wynikających z uniknięcia narastających błędów przy dodawaniu (znacznie ograniczających możliwości modelu sumacyjnego), podobnie do innych obliczeń algebraicznych nie dostarcza on narzędzi pozwalających na uwzględnienie struktury konstrukcji. Jednak, już nawet tak proste obliczenia pozwalają na zdefiniowanie *Współczynnika zgodności z antywzorcem* jako modelu, który można użyć (w bardzo ograniczonym zakresie) w projektowanej metodzie oceny konstrukcji.

Aby wskazać podstawę możliwości obliczeniowych wynikających z uwzględnienia w modelu informacji strukturze danych, należy rozszerzyć odpowiednio metody obliczenia o informacje ją reprezentujące. Odmiernym do tradycyjnych sieci neuronowych sposobem porównywania wielowymiarowych, niekompletnych informacji są sieci Kohonen'a - algorytmu pozwalającego na dynamiczne dostosowanie mapy danych do zadanego wzorca oraz obliczenie odległości pomiędzy najbardziej zbliżonymi punktami różnych map. Mapy te pozwalają na wskazanie najmniejszej odległości pomiędzy wielowymiarowymi płaszczyznami danych, w tym przypadku reprezentującymi wartości cech. Dopiero trzecia grupa zastosowanych modeli obliczeniowych, oparta jest o algorytmy i techniki sieci neuronowych - sieć probabilistyczną oraz konwolucyjną. Stop-

niowe wykorzystanie rozwijanych możliwości matematycznych, ma na celu wskazanie ich kluczowych cech dla potrzeb analizy konstrukcji mechanicznych i wsparcia komputerowych metod projektowania elementów maszyn.

Podsumowując przeprowadzone badania nad zastosowaniami antywzorców w Mechanice i Budowie Maszyn, należy zwrócić uwagę na możliwość rozszerzania opracowanej metodyki poprzez stosowanie różnych modeli obliczeniowych do wyznaczenia podobieństwa danych wejściowych do zbioru antywzorców. Zaprojektowany w ten sposób schemat badań (rys. 2.4), może w łatwy sposób posłużyć do dalszych prac weryfikujących inne algorytmy i modele numeryczne.

## 2.6 Zastosowanie rozwiązania

O ile dużo łatwiej jest opisywać przeszłość niż przewidywać przyszłość, to można oczekiwać, że wyniki niniejszej pracy doktorskiej doprowadzą do stworzenia programów komputerowych pozwalających na:

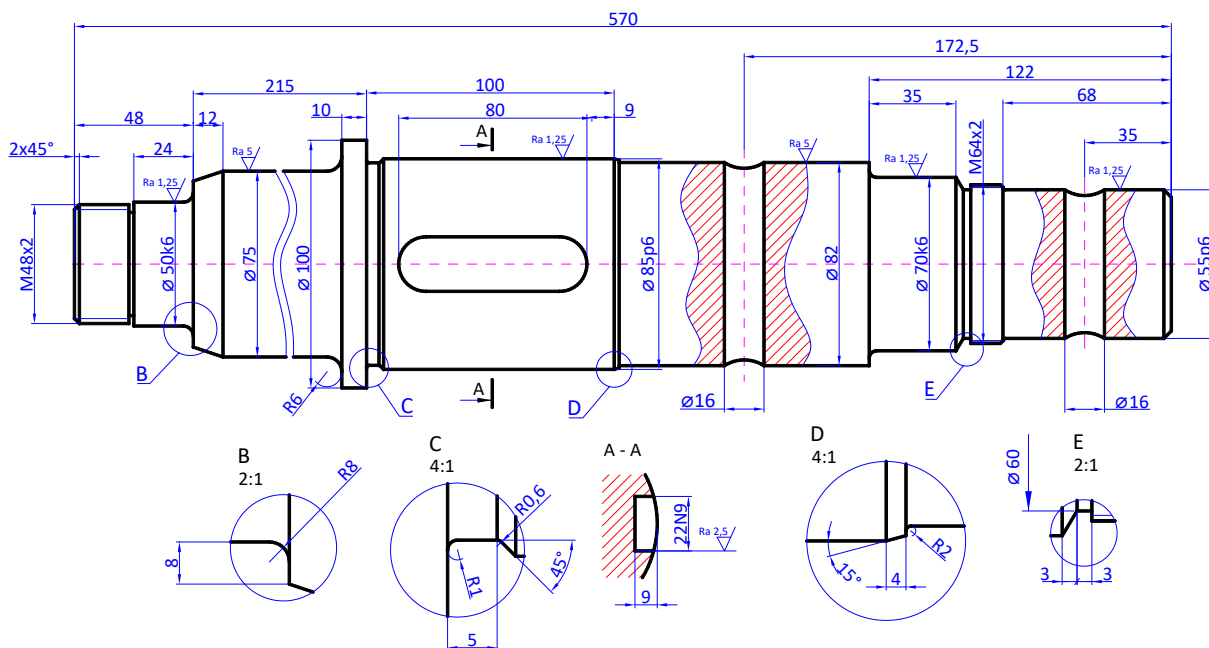
- symboliczny zapis wiedzy konstruktorskiej o złych, powtarzalnych rozwiązaniach konstrukcyjnych,
- automatyczne informowanie projektantów maszyn o błędnych rozwiązaniach w tworzonych projektach, jeszcze przed ich ukończeniem,
- automatyczną ocenę jakości projektów konstrukcji mechanicznych w odniesieniu do zdefiniowanej subiektywnie referencji jakości,
- ułatwienie szkolenia i pozyskiwania wiedzy przez projektantów maszyn.

Mimo powyższych, konkretnych zalet płynących z możliwości utworzonych przez badania nad antywzorcami, jedną z cech wartych podkreślenia jest uniwersalność proponowanej metodyki i bardzo szeroki zakres stosowalności w projektach teoretycznie dowolnych części maszyn i wykrywanych rodzajów nieprawidłowości.

## 2.7 Oczekiwane rezultaty pracy

Jednym z pierwszych efektów prowadzonych prac, ma być zbiór podstawowych technik mających na celu przekształcenie reprezentacji wiedzy konstruktorskiej z formy rysunku technicznego (rys. 2.5) na symboliczny format łatwo poddający się analizie z użyciem technik informacyjnych (np. list. 2.1). *Opis opracowanej metody symbolicznego zapisu cech konstrukcji znajduje się w rozdziale 5.*





Rysunek 2.5: Referencyjny wałek wielostopniowy

Kolejnym oczekiwanym rezultatem jest stworzenie pierwszego zbioru nietrywialnych antywzorców konstrukcyjnych, który może służyć jako podstawa naukowa do dalszych prac badawczych czy przemysłowych. *Metody służące do identyfikacji antywzorców, ich dekompozycji i opisu znajdują się w rozdziale 4.*

Z użyciem opracowanych metod zapisu konstrukcji mechanicznych, identyfikacji antywzorców, należy stworzyć metodę oceny konstrukcji mechanicznych pozwalającą na porównanie cech konstrukcyjnych elementów maszyn. *Metoda oceny konstrukcji została opisana w rozdziale 6.*

Udowadniając zasadność stosowania antywzorców oraz modeli neuronowych do wsparcia procesów projektowania maszyn, należy wskazać czynniki tworzące nowe, nieosiągalne wcześniej możliwości stosowanych modeli obliczeniowych. *Analiza wskazująca nowatorskie techniki analizy struktury została opisana w rozdziale 7.*

```

1  klasa -> wał stopniowy
2  mechaniczny ->
3  cechy ->
4    l, R, d, fi -> milimetr
5    pn -> polska norma
6    tolerancja -> polska norma
7    Ra -> { jednostka -> mikrometr }
8    ką_t_y ->
9      jednostka -> stopnie
10     wektor -> (ø,1,ø)

```

```
11   ką_t_z ->
12     jednostka -> stopnie
13     wektor -> (0,0,1)
14   węzły ->
15   węzeł_1 ->
16     klasa -> trzpień
17     cechy -> { l -> 48; Ra -> 1,25; fi -> 50; tolerancja -> k6 }
18     węzły ->
19       frez ->
20         cechy -> { l -> 2; ką_t_y -> 45 }
21       gwint ->
22         cechy -> { pn -> M48x2; l -> 24 }
23       podcięcie ->
24         cechy -> { R -> 8; d -> 8 }
25   węzeł_2 ->
26     klasa -> trzpień
27     cechy -> { l -> 215; Ra -> 5; fi -> 75 }
28     węzły ->
29       frez ->
30         cechy -> { l -> 12 }
31       podcięcie ->
32         cechy -> { R -> 6 }
33       trzpień ->
34         cechy -> { l -> 10; fi -> 100 }
35   węzeł_3 ->
36     klasa -> trzpień
37     cechy -> { l -> 100; Ra -> 1,25; fi -> 85; tolerancja -> p6 }
38     węzły ->
39       wpust ->
40         cechy -> { Ra -> 2,5; h -> 9; ką_t_z -> 90; l -> 80; b -> 22;
41           tolerancja -> N9 }
42       podcięcie ->
43         cechy -> { R -> 1; b -> 5 }
44       frez ->
45         cechy -> { ką_t_y -> 45; podcięcie -> { R -> 0,6 } }
46   węzeł_4 ->
47     klasa -> trzpień
48     cechy -> { Ra -> 5; fi -> 82 }
49     węzły ->
50       frez ->
51         cechy -> { l -> 4; ką_t_y -> -15 }
52       podcięcie ->
53         cechy -> { R -> 2 }
54       otwór ->
55         cechy -> { fi -> 16 }
```

```
56   klasa -> trzpień
57   cechy -> { l -> 122 }
58   węzły ->
59     węzeł_5_1 ->
60       klasa -> trzpień
61       cechy -> { l -> 35; fi -> 70; Ra -> 1,25; tolerancja -> k6 }
62       węzły -> { podcięcie -> {} }
63     węzeł_5_2 -> {
64       klasa -> trzpień
65       cechy -> { l -> frez.l + gwint.l + frez.offset; fi -> 60 }
66       węzły ->
67         frez ->
68           cechy -> { l -> 3; ką_t_x -> -60 }
69         gwint ->
70           cechy -> { pn -> M64x2; l ->
71             węzeł_5.l-węzeł_5_1.l-węzeł_5_3.l-frez.l-frez.offset }
72     węzeł_5_3 ->
73       klasa -> trzpień
74       cechy -> { l -> 68; Ra -> 1.25; fi -> 55; tolerancja -> p6 }
75       węzły ->
76         otwór ->
77           cechy -> { fi -> 16 }
78         frez -> {}
79   geometryczny ->
80     cechy ->
81       offset -> { jednostka -> mm }
82     węzły ->
83       kompozycja ->
84         cechy -> { wektor -> (1, 0, 0) }
85         węzły ->
86           l2r ->
87             klasa -> kompozycja
88             cechy -> { wektor -> (1, 0, 0) }
89             węzły ->
90               węzeł_1 ->
91                 klasa -> kompozycja
92                 cechy -> { wektor -> (1, 0, 0) }
93                 węzły ->
94                   frez -> {}
95                   gwint -> {}
96                   podcięcie -> {}
97                 węzeł_2 ->
98                   klasa -> kompozycja
99                   cechy ->
100                     offset -> węzeł_1.l
101                     wektor -> (1, 0, 0)
```

```
101     węzły ->
102         frez -> {}
103         podcięcie -> {}
104         trzpień -> {}
105 r2l ->
106     klasa -> kompozycja
107     cechy -> { wektor -> (-1, 0, 0) }
108     węzły ->
109     węzeł_5 ->
110         klasa -> kompozycja
111         cechy -> { wektor -> (-1, 0, 0) }
112         węzły ->
113             węzeł_5_3 ->
114                 klasa -> kompozycja
115                 cechy -> { wektor -> (-1, 0, 0) }
116                 węzły ->
117                     frez -> {}
118                     otwór -> { offset -> 35 }
119             węzeł_5_2 ->
120                 klasa -> kompozycja
121                 cechy -> { wektor -> (-1, 0, 0) }
122                 węzły ->
123                     gwint -> {}
124                     frez -> { offset -> 3 }
125             węzeł_5_1 -> {}
126     węzeł_4 ->
127         klasa -> kompozycja
128         cechy ->
129             offset -> węzeł_5.l
130             wektor -> (-1, 0, 0)
131         węzły ->
132             otwór -> { offset -> 172,5-węzeł_5.l }
133             podcięcie -> {}
134             frez -> {}
135     węzeł_3 ->
136         klasa -> kompozycja
137         cechy ->
138             offset -> węzeł_5.l + węzeł_4.l
139             wektor -> (-1, 0, 0)
140         węzły ->
141             wpust -> { offset -> 9 }
142             frez -> {}
143             podcięcie -> {}
```

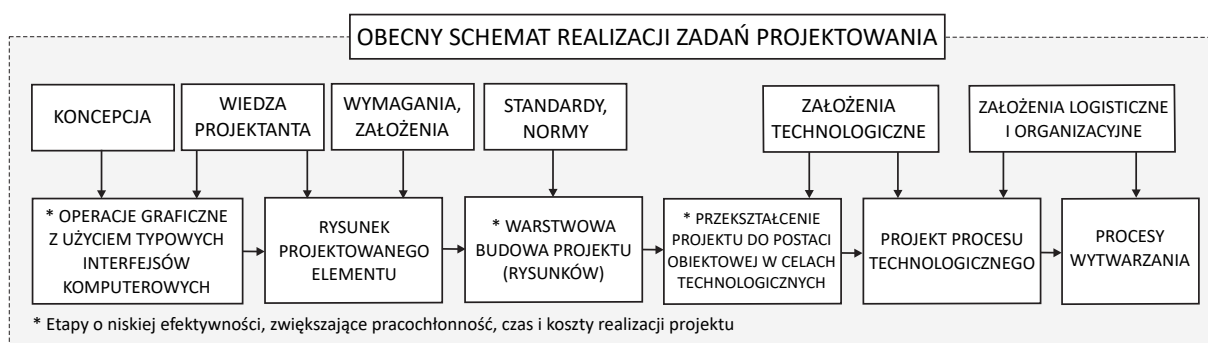
**Listing 2.1:** Uproszczony zapis symboliczny struktury i cech wału z rys. 2.5

# Rozdział 3

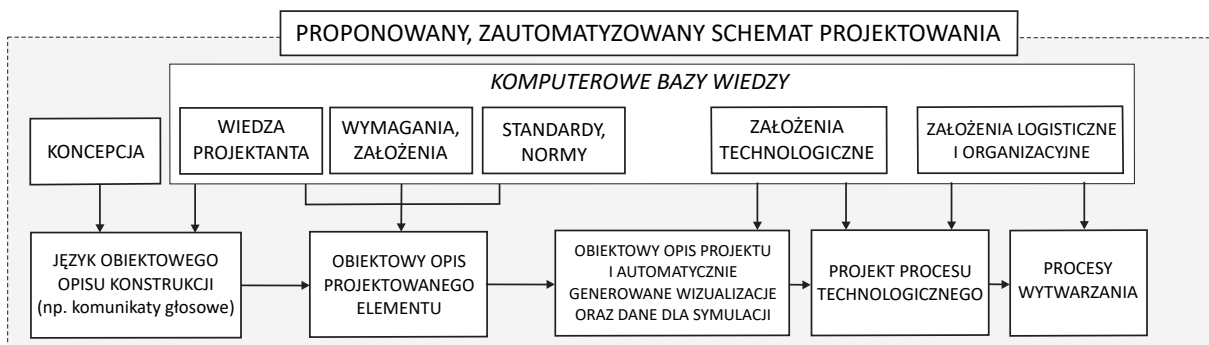
## Analiza teoretyczna

Podjmując próbę opracowania nowatorskiej metody, mającej na celu usprawnienie pracy projektanta maszyn, należy ze szczególną uwagą zbadać jej wpływ na obecny sposób wykonywania działań projektowych. W szczególności, należy uwzględnić działania podejmowane przez projektantów, które w sposób oczywisty będą bezpośrednio zdefiniowane przez operacyjne regulacje przedsiębiorstwa oraz procesy specyficzne dla konkretnej pracy. Mimo tego, możliwy jest do stworzenia ogólny schemat postępowania (rys. 3.1) przedstawiający fundamentalne etapy procesu tworzenia projektu konstrukcji mechanicznej oraz wskazujące jego kluczowe elementy.

Koncepcja części mechanicznej w połączeniu z wiedzą konstrukcyjną (specyficzną dla osoby projektującej), pozwalają na wykonanie wielu operacji graficznych prowadzących do stworzenia rysunku projektowanego elementu. Posiadając podstawową koncepcję konstrukcji, należy uwzględnić wszelkie postawione jej wymagania i zdefiniowane założenia projektowe. Następnie, rysunek techniczny reprezentujący konstrukcję jest użyty jako pewnego rodzaju szablon do stworzenia specjalnych warstw pozwalających na opis dodatkowych, technologicznych cech konstrukcji. Te dodatkowe rysunki techniczne mogą odpowiadać oddzielnym procesom technologicznym, które definiują zakres cech istotnych dla konkretnego formatu opisu konstrukcji.



Rysunek 3.1: Bieżąca metoda realizacji zadań projektowych



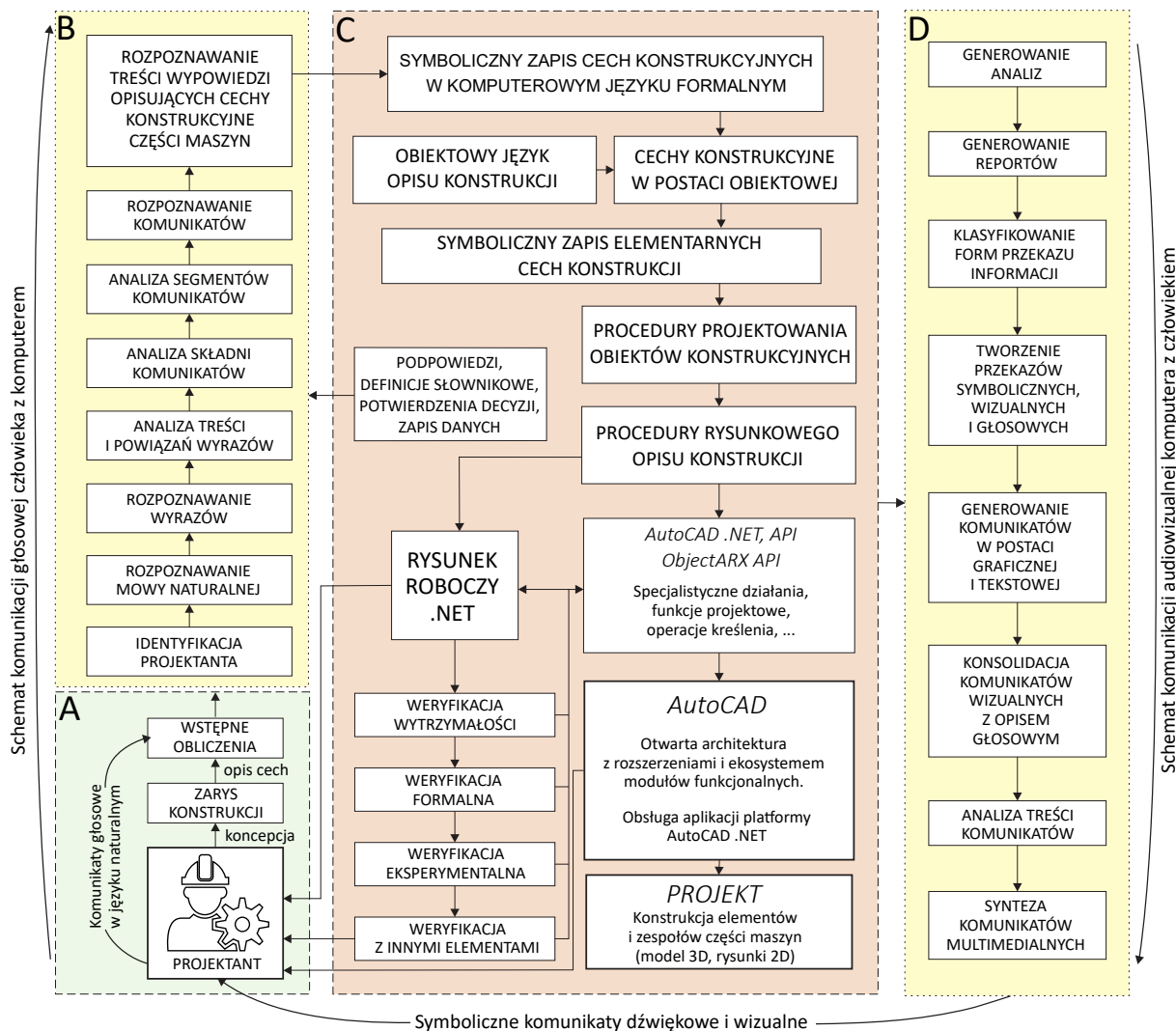
**Rysunek 3.2:** Proponowana metoda realizacji zadań projektowych

Przekształcając opis konstrukcji z formy rysunkowej do postaci symbolicznej, obiektowej, rozpoczyna się proces przeniesienia danych z rysunku technicznego do przestrzeni informacyjnej w celu reprezentacji konstrukcji. Jego kluczowym elementem jest uwzględnienie założeń technologicznych tworzących podstawy projektowanego procesu technologicznego (produkcji elementu maszynowego).

Proces projektowania konstrukcji mechanicznych funkcjonuje obecnie w sposób wywodzący się z tradycyjnej formy opisu konstrukcji - rysunku technicznego. Dwuwymiarowy, rysunkowy opis konstrukcji wydaje się niewystarczająco uwzględniać możliwości płynące z pracy w przestrzeni informacyjnej. W szczególności, etapy oznaczone gwiazdką na rys. 3.1 (tworzenie rysunku, jego warstwowa replikacja oraz późniejsza translacja do formatu programowego) cechują się dużą czasochłonnością i wpływem na efektywność całego procesu tworzenia konstrukcji.

W ramach prac prowadzonych w Zespole Badawczo-Dydaktycznym nad zautomatyzowanymi procesami projektowania części maszyn, proponowane jest szersze zastosowanie technik komputerowych. Obecne komputerowe modele i bazy wiedzy mogą wspierać wszystkie z działań podejmowanych w trakcie tworzenia konstrukcji. W opracowanej metodzie realizacji zadań projektowych (rys. 3.2) można przyjąć, że jedynym czynnikiem zewnętrznym wykonywanym przez człowieka jest stworzenie koncepcji projektu konstrukcyjnego.

Pierwsza forma reprezentacji pomysłu na konstrukcję i realizowanej przez nią funkcji (jego koncepcja) jest wyrażana słownie - w formie komunikatów głosowych. Ze względu na charakter tego typu komunikacji, w naturalny sposób tworzony jest abstrakcyjny, symboliczny, obiektowy opis projektowanego elementu konstrukcji. Taka forma opisu części maszyn, nie tylko ułatwia komunikację z projektantem maszyny ale również redukuje potrzebę posiadania specjalistycznej wiedzy o tradycyjnych formatach zapisu danych. Symboliczna reprezentacja konstrukcji pozwala na generowanie rysunków technicznych, wielowarstwowych wizualizacji oraz może zostać łatwo przekształcona do formy pozwalającej na symulację pracy projektowanej części.



**Rysunek 3.3:** Schemat prac projektowych opartych o komunikację głosową

Poprzez uniknięcie potrzeby tworzenia i translacji rysunków technicznych, zaproponowany schemat prowadzenia prac projektowania części maszyn (rys. 3.2) pozwala na redukcję czasu i kosztowności całego procesu. Ponadto, poprzez możliwość automatyzacji elementów reprezentujących wiedzę konstrukcyjną, dostarczanych wymagań precyzyjnie definiujących funkcję konstrukcji (oraz wszystkich innych danych wejściowych) możliwe jest tworzenie projektów części maszyn, które następnie są weryfikowane w sposób w pełni zautomatyzowany.

Kolejnymi zaletami wynikającymi z szerszego zastosowania technik komputerowych w projektowaniu maszyn są: ujednoczenie standardów postępowania oraz łatwość w replikacji symbolicznej wiedzy. Obie nich wpływają na zwiększenie wynikowej jakości projektowanych konstrukcji oraz umożliwiają pogłębienie merytorycznej analizy elementu mechanicznego.

Utrudnienia wynikające z wdrożenia nowej metody wydają się wynikać z przesu-

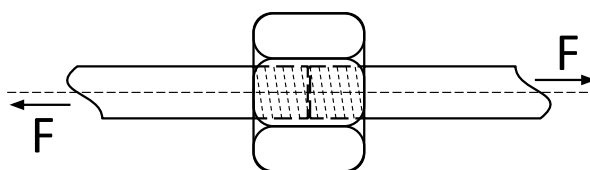
nięcia etapu tworzenia symbolicznego opisu konstrukcji na początek procesu. Wydaje się jednak, że potencjalne niedogodności w interpretacji komunikatów projektanta są już w większości wyeliminowane, a granica poznania (możliwości automatycznej interpretacji) znajduje się obecnie na interpretacji danych wektorowych.

Analizując bardziej szczegółowy schemat prowadzenia prac projektowania (rys. 3.3) wyróżnić można w nim cztery grupy procesów kluczowych dla jakości projektowanego rozwiązania:

- *A. koncepcyjna praca projektanta* - opierająca się na stworzeniu koncepcji konstrukcji opartej o wybrane rozwiązania konstrukcyjne mające na celu realizację funkcji przypisanej projektowanemu elementowi maszyny;
- *B. komputerowe techniki komunikacji głosowej* - tłumaczące głosowe polecenia (lub z użyciem innych technik komunikacji człowiek-komputer) na dane pozwalające programom komputerowym zdefiniować konstrukcję;
- *C. wspierane komputerowo projektowanie maszyn* - pozwalające na reprezentację opisu konstrukcji, generowanie rysunków technicznych, złożonych wizualizacji oraz automatyzację procesów weryfikacji konstrukcji;
- *D. komputerowe techniki analityczne i audiowizualne* - grupujące procesy analizy zapisów konstrukcji, symulacji oraz raportowania jakości projektu, tak aby pozwolić projektantowi na jego dalsze udoskonalenie.

### 3.1 Antywzorce

Wstępne badania rozpoczęte zostały od identyfikacji antywzorców łączy konstrukcyjnych. Analiza najprostszych połączeń śrubowych, wskazała podstawowe cechy antywzorców oraz potwierdziła rolę rozmieszczenia cech konstrukcyjnych w strukturze nadającej im kontekst. Trywialny przykład z rys. 3.4 pokazuje błędną kompozycję trzech elementarnych obiektów konstrukcyjnych, która w sposób oczywisty jest nieprawidłowa w większości z praktycznych zastosowań.

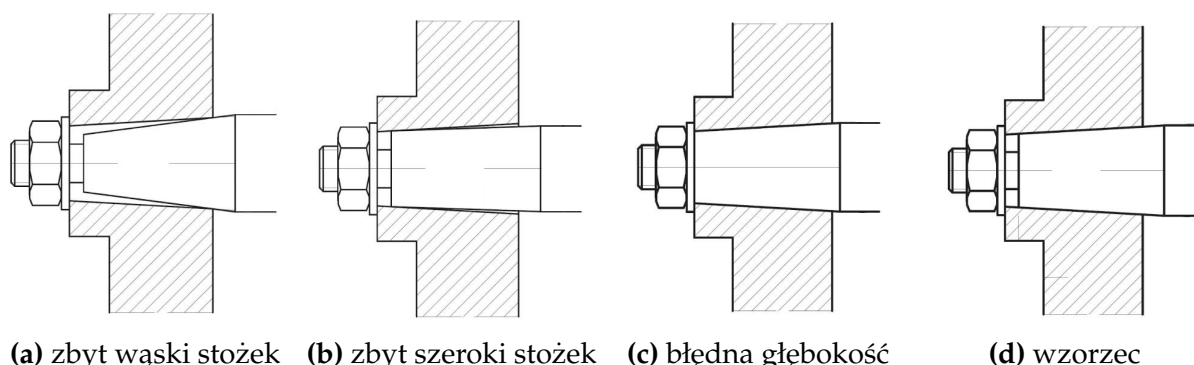


**Rysunek 3.4:** Błędne połączenie prętów

W bardziej złożonych łączeniach śrubowych, zaobserwować można błędy reprezentowane przez pojedyncze, konkretne cechy konstrukcyjne, np. zbyt duża różnica kątów pomiędzy stożkiem obiektu osadzanego a otworem w którym realizowana jest funkcja łączenia elementów (rys. 3.5). Antywzorcem nawiązującym do struktury tej

W bardziej złożonych łączeniach śrubowych, zaobserwować można błędy reprezentowane przez pojedyncze, konkretne cechy konstrukcyjne, np. zbyt duża różnica kątów pomiędzy stożkiem obiektu osadzanego a otworem w którym realizowana jest funkcja łączenia elementów (rys. 3.5). Antywzorcem nawiązującym do struktury tej





(a) zbyt wąski stożek (b) zbyt szeroki stożek (c) błędna głębokość (d) wzorzec

**Rysunek 3.5:** Antywzorce łączenia mechanicznego

minimalnej konstrukcji, jest błędna odległość pomiędzy wsuniętym stożkiem a podkładką i nakrętką, domykającymi i dociskającymi łączoną konstrukcję).

Możliwe jest dokonanie symbolicznego, syntetycznego opisu tych antywzorców w formie, która pozwala na stworzenie prostych modeli komputerowych wykrywających je poprzez porównanie ze sobą wartości ich cech. Kluczowym celem stawianym symbolicznemu opisowi jest możliwość przedstawienia cech konstrukcyjnych definiowanych dla różnych rodzajów części mechanicznych - aby umożliwić reprezentację obiektów zidentyfikowanych w trakcie dekompozycji struktury.

Ze względu na ograniczony zakres wynikający z nieskomplikowanej natury połączeń mechanicznych, stosunkowo wcześniej zmieniono podstawową klasę badanych obiektów na wałki stopniowe. Wały i trzpienie posiadają większy stopień zróżnicowania oraz pozwalają na wyselekcjonowanie szeregu różnych cech antywzorcowych wynikających również ze struktury konstrukcji.

Należy założyć, że rozpatrywane problemy konstrukcyjne mogą być niebezpośrednio związane z konkretnymi wymiarami części elementarnych konstrukcji. Powyższe antywzorce (rys. 3.5a, 3.5b, 3.5c) są uniezależnione od skali wymiarów zastosowanych w rozwiązaniu. Zapis tych antywzorców może więc przyjąć formę relacji pomiędzy wartościami kątów (rys. 3.5a, 3.5b), czy stosunku średnicy otworu do odległości pomiędzy czopem a nakrętką (rys. 3.5c).

Celem prowadzonej pracy badawczej jest określenie zasadności użycia antywzorców w procesach, działaniach i modelach wykorzystywanych w Mechanice i Budowie Maszyn. W ramach wstępnych badań nad identyfikacją kluczowych cech antywzorcowych konstrukcji (prowadzonych przed opracowaniem symbolicznego języka opisu konstrukcji KXML) - przyjęto metodę pracy opartą o następujące etapy:

1. *Identyfikacja antywzorcowych cech konstrukcji* mająca na celu wybranie i wskazanie zależności matematycznych pozwalających na ujednoczenie modelu obliczeniowego pomiędzy danymi pochodzącymi z wielu różnych konstrukcji. Zaobser-

wowane antywzorcowe cechy łączenia wynikają bezpośrednio z zależności oraz relacji geometrycznych.

```

1 kolineacja_1: {
2   fn: stożek.kąt - otwór.kąt,
3   min: -1 * PI, max:PI,
4   jednostka: radian
5 },
6 odstęp_1: {
7   fn: otwór.długość - otwór.koniec.r * stożek.długość /
8       stożek.koniec.r,
9   min: 0, max: stożek.długość,
10  jednostka: metr
11 }

```

**Listing 3.1:** Symboliczny zapis antywzorcowych cech łączeń mechanicznych

2. Zdefiniowanie zakresów i wartości dla użytych w obliczeniach stałych i zmiennych pozwalające na przyjęcie wspólnej definicji dla powtarzających się cech konstrukcji. Aby ujednolicić sposób użycia zmiennych wartości cech konstrukcyjnych w obliczeniach, uzupełnione są one o symboliczne wartości stałe (np. liczbę pi), do których można się odwołać w ten sam sposób co do wartości zmiennych.

```

1 kąt: {
2   wartość: 0,
3   min: -1 * PI, max: PI,
4   jednostka: radian
5 },
6 długość: {
7   wartość: 0,
8   min: 0, max: 1000,
9   jednostka: metr
10 },
11 r: {
12  wartość: 0,
13  min: 0, max: 1000,
14  jednostka: metr
15 }

```

**Listing 3.2:** Symboliczny opis stałych i zmiennych wartości cech konstrukcji

3. Opis struktury węzłów konstrukcji z antywzorcowymi cechami pozwala na zdefiniowanie podstawowych informacji o strukturze analizowanych obiektów elemen-

tarnych. Jest to symboliczna reprezentacja dekompozycji konstrukcji na obiekty elementarne zawierająca jedynie elementy użyte do zdefiniowania antywzorca. Lista wszystkich obiektów elementarnych zaobserwowanych na rys. 3.5 zawiera jeszcze nakrętkę i gwintowany pręt pozwalający na połączenie elementów.

```
1 koło: {
2   klasa: węzeł,
3   cechy: { r: 0 }
4 },
5 czop: {
6   klasa: stożek,
7   cechy: {
8     długość: 1,
9     kąt: długość / abs(początek.r - koniec.r)
10  },
11  węzły: {
12    początek: { klasa: koło },
13    koniec: { klasa: koło }
14  }
15 },
16 otwór: {
17   klasa: lej,
18   cechy: {
19     długość: 1,
20     kąt: długość / abs(początek.r - koniec.r)
21  },
22  węzły: {
23    początek: { klasa: koło },
24    koniec: { klasa: koło }
25  }
26 }
```

**Listing 3.3:** Symboliczny model antywzorcowych cech w strukturze konstrukcji

4. *Przypisanie konkretnych wartości i stworzenie antywzorca* możliwe jest poprzez złożenie pełnego kontekstu informacji wymaganych do zdefiniowania modelu nieprawidłowości reprezentowanego przez antywzorec. Należy unikać zapisu nadmiernych elementów w ramach antywzorca ze względu na ich rolę i bezpośredni wpływ na obniżenie efektywności procesu badania podobieństwa konstrukcji.

```
1 geometryczny: {
2   klasa: łączenie,
3   cechy: {
```

```

4   kolineacja_1: {},
5   odstęp_1: {}
6 },
7 węzły: {
8   otwór: {
9     długość: 0.05,
10    początek: { r: 0.01 },
11    koniec: { r: 0.03 }
12  },
13  czop: {
14    długość: 0.055,
15    początek: { r: 0.01 },
16    koniec: { r: 0.04 }
17  }
18 }
19 }

```

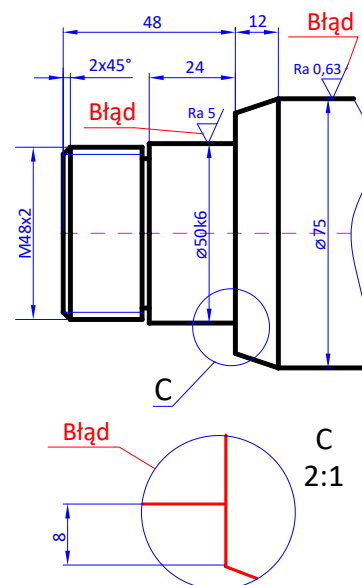
**Listing 3.4:** Symboliczny opis antywzorca połączenia śrubowego

Pierwsze zidentyfikowane antywzorce (rys. 3.6) są dwoma błędnymi wartościami cech konstrukcji (chropowatość powierzchni  $Ra$ ) dla roli spełnianej przez odpowiednie części wałka. W ramach prowadzonej analizy antywzorców porównano antywzorcowy wałek (rys. 3.7) z innym, bardzo podobnym, ale nie zawierającym wskazanych błędów (rys. 3.8). Kolejny błąd (szczegół C na rys. 3.6) odnosi się do braku informacji o podcięciu przy zmianie średnicy wałka.

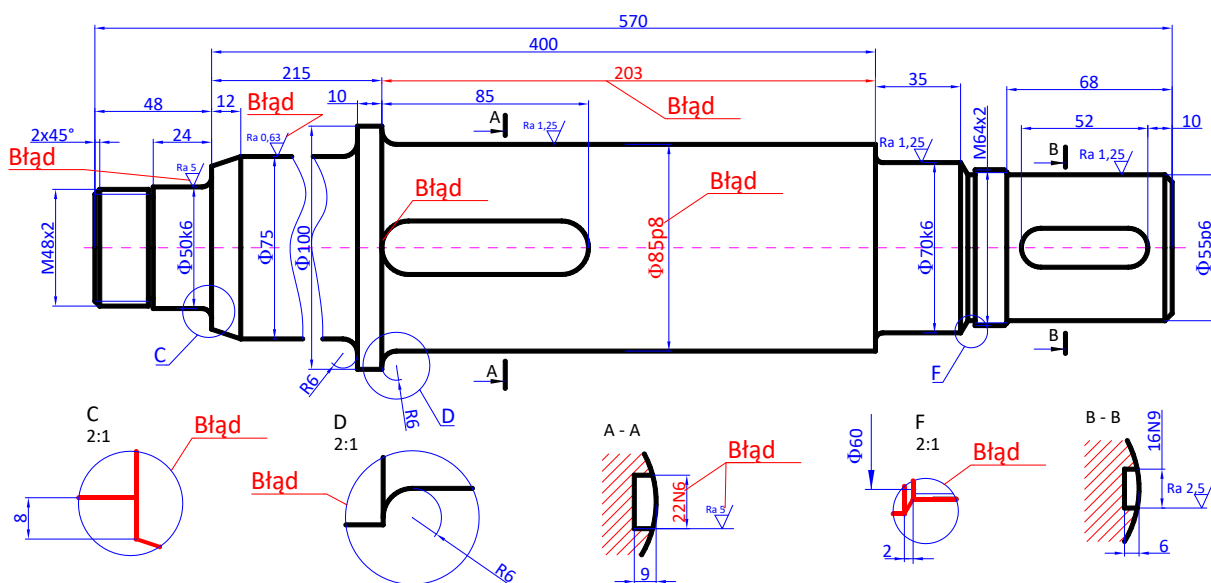
Są to błędy trywialne zarówno ze względu na ich pochodzenie jak i złożoność. Pozwalają jednak na wskazanie podstawowych cech antywzorców - natury błędów konstrukcyjnych i możliwości ich uchwycenia w zapisach rysunkowych i symbolicznych.

Do oceny jakości decyzji projektanta o przypisaniu określonej części wałka konkretnej chropowatości, wystarczy informacja o funkcji jaką ma spełniać element konstrukcji. Dwa z błędów zidentyfikowanych na rys. 3.6 reprezentują ten sam antywzorec, w którym dokładność obróbki skrawaniem nie jest odpowiednio dobrana ze względu na potrzebę uwzględnienia styku z innymi elementami (nie wskazanymi jawnie).

Niektóre z powierzchni wałów stopniowych wymagają dobrania odpowiedniej tech-



**Rysunek 3.6:** Antywzorcowe cechy wałka wielostopniowego



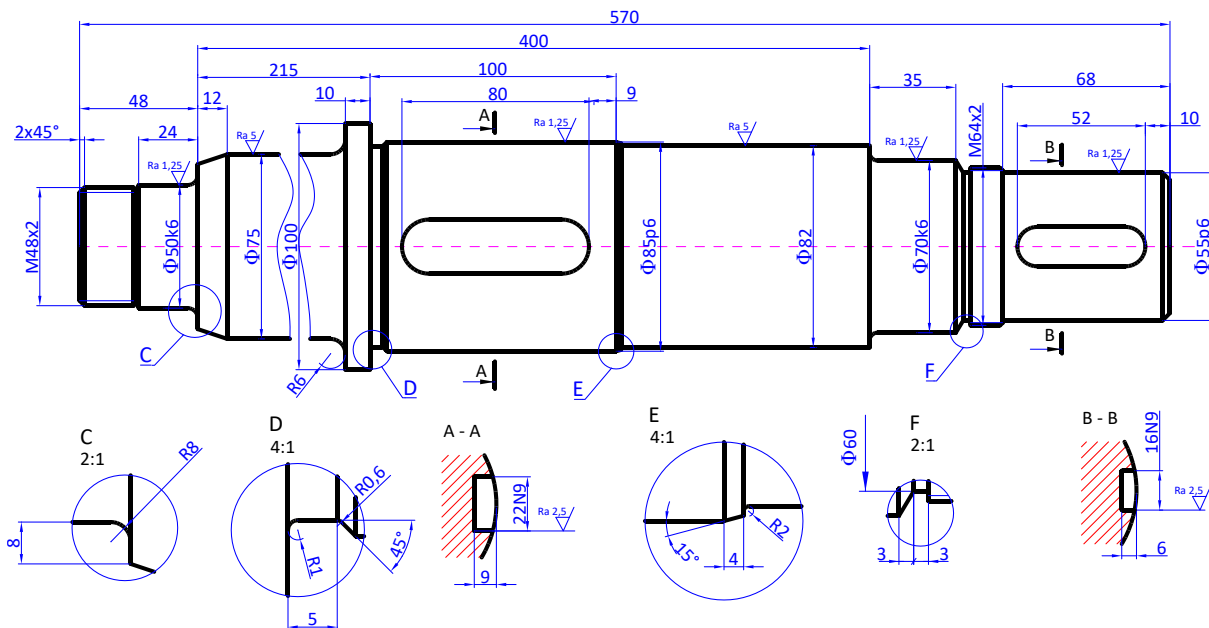
Rysunek 3.7: Antywzorcowy wałek wielostopniowy

nologii obróbki tak aby można było osiągnąć wyższą precyzję wykonania. Tym samym, istotą przypisania właściwej wartości tej cechy konstrukcyjnej, jest uzyskanie odpowiedniej jakości powierzchni styku pomiędzy wałem a jego mocowaniem. Nieprawidłowe może być przyjęcie zarówno zbyt niskiej jak i zbyt wysokiej dopuszczalnej chropowatości powierzchni. Błąd ten wynika z nieodpowiedniego doboru narzędzia obróbki do produkcji elementu spełniającego określoną funkcję w konstrukcji wału stopniowego. Automatyczne wykrycie antywzorców opartych wyłącznie na tego typu nieprawidłowościach, wydaje się oczywiste jedynie w przypadku posiadania kontekstowej informacji (typu części wału) pozwalającej na ocenę dostosowania wartości cechy do założonej funkcji elementu.

Jedynie drugi ze zidentyfikowanych na rys. 3.6 błędów, wymaga ustrukturalizowanego opisu konstrukcji wału - tylko posiadając informacje na temat dwóch sąsiadujących ze sobą części wału, możemy ocenić zmianę jego średnicy. O ile powstająca różnica nie jest wartością pozwalającą na wykrycie błędu, to brak zdefiniowanego promienia podcięcia można uznać za błąd w opisie konstrukcji.

Porównując bardziej złożone projekty wałów stopniowych, zidentyfikować można szereg antywzorców charakteryzujących się dużym zróżnicowaniem co do ich pochodzenia i formy reprezentacji w formacie rysunku technicznego. Antywzorcowy wał stopniowy (rys. 3.7) przedstawia dziewięć błędów, które poddano analizie w celu zdefiniowania cech współdzielonych przez antywzorce. W zbiorze tym (rys. 3.7), możemy zidentyfikować antywzorce wynikające z:

- *Błędnej wartości cechy konstrukcyjnej* - najczęściej obserwowane w trakcie badań antywzorce, prawdopodobnie ze względu na łatwość ich utworzenia.



Rysunek 3.8: Poprawny wałek wielostopniowy

Antywzorce tego typu wynikają z nieuwzględnienia wystarczająco szerokiego zakresu wiedzy konstruktorskiej (np. pominięcie konkluzji wynikających z wiedzy o wymaganiach dot. precyzji obróbki powierzchni).

W trakcie prowadzonych badań, uwidocznił się zbiór antywzorców wynikających z niedostosowania wartości cechy konstrukcyjnej do funkcji realizowanej przez dany obiekt elementarny. W rozpatrywanym przypadku, brak informacji o przeznaczeniu danej części składowej wałka (lub zignorowaniu jej funkcji) powoduje nieprawidłowe dobranie cechy  $Ra$  definiującej precyzję obróbki tej powierzchni.

- *Błędnej struktury konstrukcji* - uwidocznionej poprzez relację pomiędzy wartościami cech wynikającą z rozmieszczenia obiektu w strukturze części maszyny (np. cechy części wałów sąsiadujących ze sobą bezpośrednio powinny nie zawierać antywzorcowych wartości). Źródło występowania tego typu antywzorców wynika z nieprawidłowości (często niejawnych w opisach) w relacjach i zależnościach pomiędzy obiektami elementarnymi konstrukcji.
- *Błędów opisu konstrukcji* - reprezentujących braki spójności w opisie konstrukcji. Można przyjąć, że ta grupa błędów może zostać wyeliminowana już z pomocą bieżących komputerowych systemów typu CAD/CAM (np. do automatycznego obliczania wymiarów, czy wsparcia przy doborze tolerancji wymiaru).

Identyfikując bezpośrednio przyczyny powstawania błędów konstrukcyjnych, a tym samym przyczyn konkretnych antywzorców - należy rozróżnić antywzorce od nie-

ograniczonego zbioru rozwiązań złych. Przyczyny zarówno antywzorców jak i innych błędnych rozwiązań mogą być identyczne (np. brak wiedzy). Warto jednak wskazać przyczyny błędów konstrukcyjnych, które wydają się być najistotniejsze:

- niedostosowanie do kolejnych etapów produkcyjnych, lub brak uwzględnienia konsekwencji poprzednich działań,
- nieuwzględnienie kosztów całego cyklu życia części: produkcji, eksploatacji, napraw czy wycofywania elementu z użycia,
- nieuwzględnienie subiektywnych wymagań odbiorcy (np. w zakresie eksploatacji, wzornictwa czy trwałości),
- dominacja zadań graficznych nad pracą koncepcyjną i merytoryczną,
- ograniczenia narzędzia użytego do reprezentacji i komunikacji opisu konstrukcji,
- pozostawienie w opisie elementów niepotrzebnych, powodujących dwuznaczności, czy ukrywających istotne czynniki konstrukcji,
- błędy ludzkie (np. pośpiech, niedbałość, nieuwaga), brak wielokryteriowej kontroli projektów, rutyna, przyzwyczajenia projektanta,
- półśrodki, niestabilność rozwiązań poddawanych dalszym modyfikacjom, niewłaściwy dobór materiałów,
- brak uwzględnienia czynników zewnętrznych.

Modele symulujące zachowanie konstrukcji w świecie fizycznym, wymagają dodatkowej interpretacji danych wyjściowych aby pozwolić na ocenę prawidłowości konstrukcji. Uwzględnienie koncepcji antywzorców w obliczeniach modeli numerycznych poddających interpretacji wartości cech konstrukcji, tworzy niezależną i negatywną referencję jakości. Pozwala ona na odniesienie wyników obliczeń do zdefiniowania oceny prawidłowości wybranego elementu. Informacja o tak zdefiniowanej, subiektywnej granicy jakości w ocenie projektów konstrukcyjnych, może być przydatna również w modelach symulacyjnych. Zasadna wydaje się również identyfikacja błędnego zachowania konstrukcji w trakcie symulacji, gdzie powtarzające się zdarzenia (np. przegrzanie elementu) mogą być automatycznie wykrywane i adekwatnie oceniane przez system komputerowy.

Zidentyfikowane antywzorce w łączeniach mechanicznych jak i wałach stopniowych cechują się niestety niskim poziomem zróżnicowania. Sugeruje to potrzebę ponownej zmiany typu badanych konstrukcji. Tą jednoznaczną konkluzję wysnutą z dotychczasowych badań wsparła Rada Wydziału, sugerując przeniesienie prac badaw-

czych na typ konstrukcji mechanicznych o większej różnorodności. Właściwymi konstrukcjami wydają się korpusy przekładni ślimakowych, w których wykorzystywane są złożone rozwiązania strukturalne. Nietrywialne formy opisu w formie rysunkowej znacznie utrudniają manualne wykrycie błędów w konstrukcji poprzez analizę jej rysunkowego opisu (np. rys. 3.9).

### 3.1.1 Definicja antywzorca

Jako stosunkowo nowy koncept, antywzorze są definiowane jako powtarzalne procesy, struktury, modele, szablony, lub schematy, które pomimo powierzchownej, złudnej prawidłowości, powodują istotne negatywne konsekwencje (niewystępujące w adekwatnym, w pełni poprawnym rozwiązaniu).

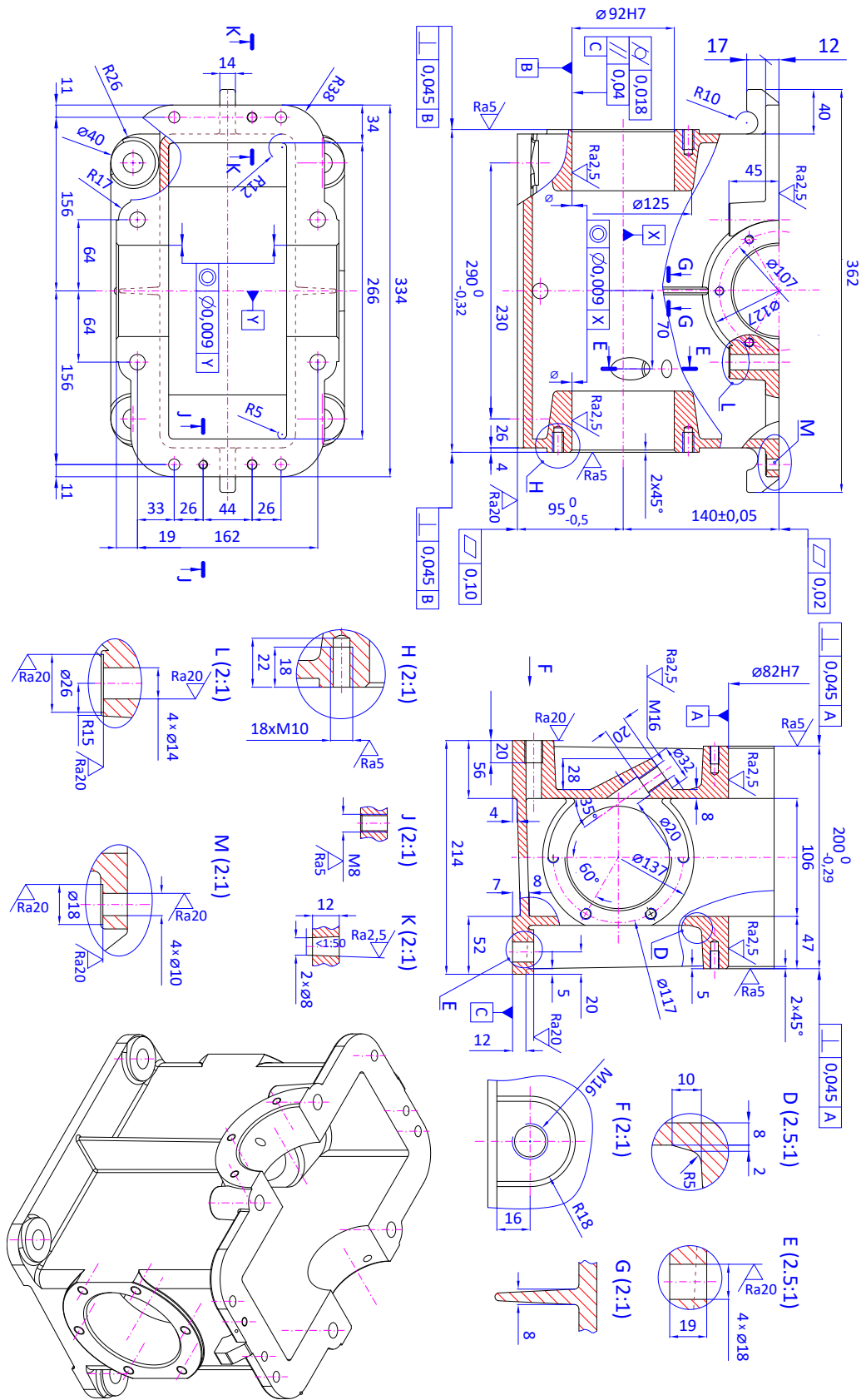
Antywzorzec to rozwiązanie, którego negatywne efekty przeważają pozytywne, ale jest on mylnie stosowany ze względu na swoją pozorną poprawność. Analizując abstrakcyjną przestrzeń rozwiązań można przyjąć, że antywzorzec to specyficzny podzbiór wszystkich możliwych rozwiązań dla zadanej konstrukcji funkcji. Rozwiązania antywzorcowe (oprócz negatywnych czynników generujących nieprawidłowość) zawierają element pozornie ukrywający błąd - w pewnym zakresie realizując funkcję zadaną podmiotowi antywzorca. Ten pozornie pozytywny charakter antywzorców, odróżnia je od rozwiązań złych i bezsensownych.

Odnosząc koncepcję antywzorca do oceny rzeczywistych rozwiązań konstrukcyjnych, antywzorze konstrukcyjne charakteryzują się możliwością bezpośredniej obserwacji i pomiaru wartości odróżniających je od rozwiązań prawidłowych. Wartości wyznaczonych cech konstrukcji można porównać z wartościami zarówno cech antywzorca jak i wzorca (rys. 3.10). Metoda ta jest często wykorzystywana w pracach projektowych, gdy projektanci porównują ze sobą kilka podobnych struktur aby odnaleźć błąd - potencjalny antywzorzec.

Oczywiście, pozytywna weryfikacja jest również wymagana do pełnej oceny elementu konstrukcji. Przyjmuje się jednak, że w przypadku antywzorców istnieje możliwość wiele oczywistych możliwości ograniczenia analizy - aby przyniosła ona pozytywny rezultat. Z tego względu czynnik negatywnej weryfikacji uznaje się za decydujący przy definiowaniu antywzorca.

Lokalizując zbiór antywzorców w przestrzeni rozwiązań (rys. 3.11) należy wskazać ich odmienność od rozwiązań nieweryfikowalnych, niepowtarzalnych oraz błędnych. Antywzorze funkcjonują w obszarze rozwiązań weryfikowalnych pozytywnie, jako podzbiór rozwiązań powtarzalnych i weryfikowalnych również negatywnie. Kluczowym czynnikiem definiującym granicę pomiędzy rozwiązaniem prawidłowym, antywzorcowym oraz błędnym, jest proporcja efektów pozytywnych i negatywnych.





Rysunek 3.9: Referencyjny korpus przekładni ślimakowej

Błędne rozwiązania to takie, których pozytywny wpływ na rozwiązanie jest nikły praktycznie w każdym zakresie analizy problemu. Antywzorce przy zmieniającej się dokładności analizy ich efektów dają mieszane rezultaty. Z kolei elementy wzorcowe charakteryzują się dominacją czynników pozytywnych i minimalną ilością negatywnych konsekwencji wynikających z zastosowanego rozwiązania.

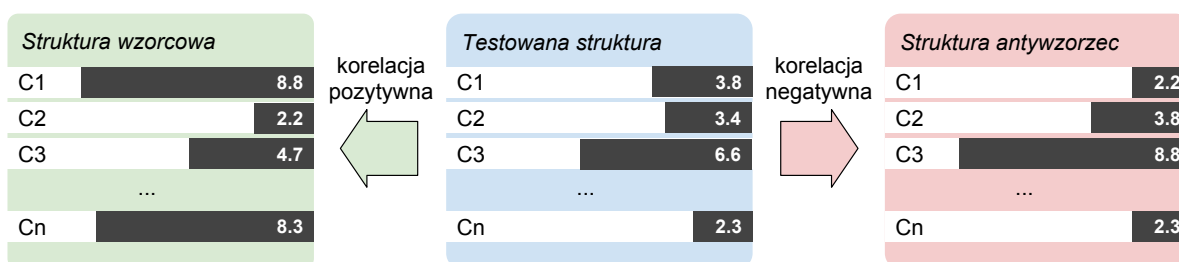
Zakładając zmienne ograniczenia wielokryteriowych modeli oceny poprawności konstrukcji mechanicznej, można zaobserwować korelację z przyczyną powstawania błędów - w ograniczonych zakresach oceny jakości, antywzorce mogą wydawać się rozwiązaniami jednoznacznie prawidłowymi.

### 3.1.2 Zastosowania antywzorców w informatyce

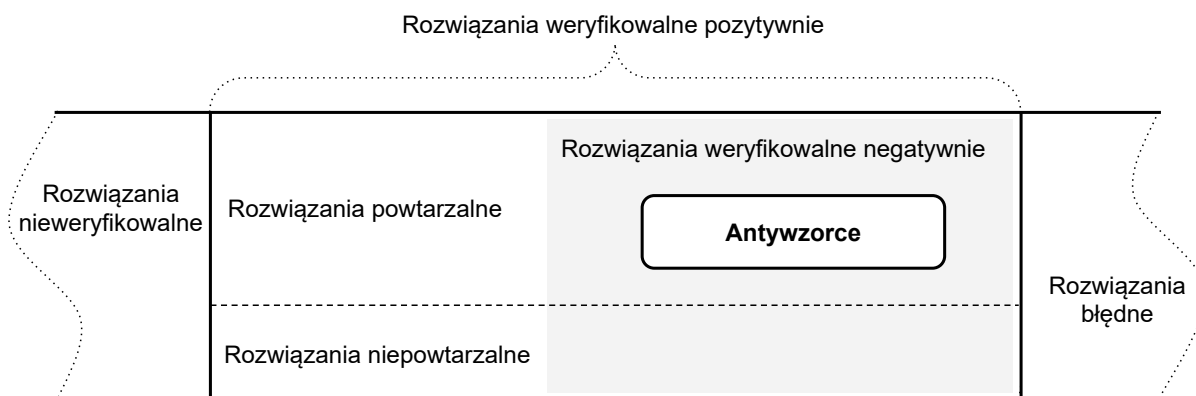
Antywzorce (podobnie jak informatyczne wzorce projektowe) definiują słownik pojęć dla powszechnie występujących błędnych procesów zarówno w kodzie źródłowym systemów komputerowych jak i w organizacjach je wytwarzających. Posiadanie i używanie tego typu pojęć upraszcza i przyspiesza komunikację pomiędzy projektantami i inżynierami oprogramowania. Identyfikacja i komunikacja antywzorców informatycznych, jest ciągle nowatorską działalnością jednak jest już powszechnie stosowana na całym świecie do zwiększenia jakości projektów informatycznych i organizacji wytwarzających oprogramowanie komputerowe.

Antywzorce informatyczne zawierają w sobie wiedzę i wnioski z wcześniejszych doświadczeń z powtarzającymi się problemami wygenerowanymi przez rozwiązania tylko pozornie prawidłowe. Aby ułatwić usuwanie przyczyn antywzorców, ich opis często uzupełniany jest o propozycję rozwiązania poprawnego wskazującego błąd poprzez kontrast, a ich klasyfikacja prowadzona jest w odniesieniu do poziomu abstrakcji artefaktu informatycznego, którego dotyczą (np. kod źródłowy, architektura, organizacja, repozytorium, bazy danych, itp.).

Ze względu na niespotykaną wcześniej złożoność systemów informatycznych, przekazywanie wiedzy informatycznej nie może ograniczać się do informacji wzorcowej.



**Rysunek 3.10:** Zależność pomiędzy elementem testowym a wzorcem i antywzorcem



**Rysunek 3.11:** Schemat klasyfikacji rozwiązań konstrukcyjnych i antywzorców

Ze względu na swą ograniczoną złożoność, wzorce konfrontowane z niezliczoną ilością możliwości zmiany kontekstu pracy systemu informatycznego, są niewystarczające. Informacje o prawidłowych czynnikach determinujących osiągnięcie założonego efektu, należy uzupełniać o informacje eliminujące powtarzające się błędy - antywzorce (jak nie należy postępować, jakich działań unikać).

### 3.1.3 Zastosowania antywzorców w zarządzaniu

Istotną część czasu pracy zespołu inżynierskiego dotyczy komunikacji i rozwiązywania problemów z nią związanych. Antywzorce identyfikowane w dziedzinie zarządzania pracą, tradycyjnie odnoszą się do ich destruktywnego wpływu na produktywność pracowników i procesów funkcjonujących w organizacji. Istnieje szereg znanych antywzorców wynikających z natury ludzkiej (np. paraliż analityczny<sup>1</sup>, agresja intelektualna<sup>2</sup>). Inną grupę nieprawidłowości reprezentują antywzorcowe cechy występujące w procesach (np. alarm pożarowy<sup>3</sup>). Wiedza o tych powtarzających się błędach pozwala ocenić czynniki wpływających w istotny sposób na funkcjonowanie zespołów oraz konkretnych zawodów.

Ciekawym zastosowaniem koncepcji antywzorca do komunikacji błędnych zachowań przez służby wywiadu zagranicznego stanów zjednoczonych (biuro usług strategicznych - prekursor CIA) jest instrukcja prostych działań sabotażowych [25]. Zidentyfikowane w instrukcji działania mają na celu maskowanie prawidłowych działań oraz z czasem tworzenie fatalnych konsekwencji dla organizacji. Przykładowo, zalecenia uwzględniają radę aby być miłym dla nieefektywnych pracowników, przyznawać im niezасłużone profity (np. promocje na wyższe stanowiska). Dodatkowo instrukcja sabotażysty, zaleca jednoczesną dyskryminację wobec efektywnych pracowników

<sup>1</sup>zespół nie mogący osiągnąć idealnego rozwiązania nie przestaje go szukać

<sup>2</sup>osoba zaznajomiona z teorią lub technologią używa tej wiedzy do zastraszenia innych

<sup>3</sup>godziny nudy przerywane krótkotrwałymi horrorami, obserwowane np. przez pilotów lotniczych

i celowe niesprawiedliwe ocenianie ich pracy. Działania te mają obniżyć morale i produktywność organizacji z kierownikiem sabotażystą. Jeżeli jednak zamiast replikować w praktyce wiedzę zawartą w tych antywzorcach, dołożymy starań aby uniknąć tego typu działań - możemy oczekiwać wzrostu jakości pracy w organizacji.

## 3.2 Modele klasyfikacyjne

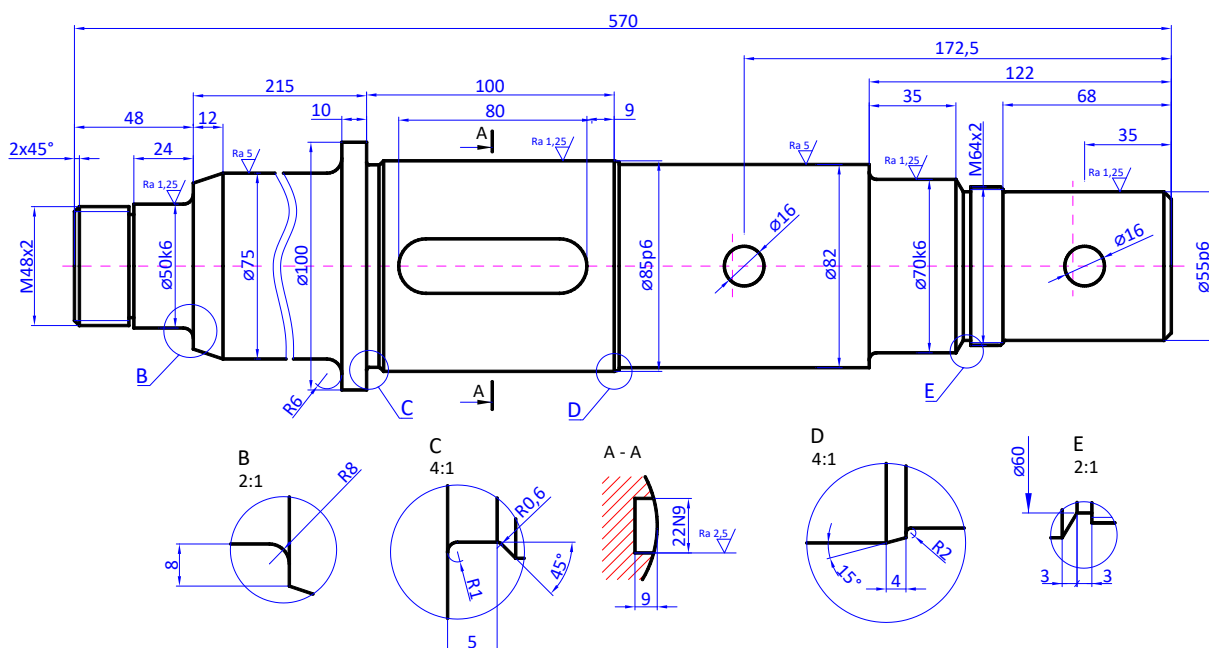
Oczywistym jest, że pewne cechy wałów są współdzielone, a co do zasady są całkowicie odmienne od cech tarcz, płyt czy korpusów. Wynika to z jednoznacznej rozdzielności zastosowań tych konstrukcji (ich funkcji). Dopuszczalna w ramach jednej grupy odmienność konstrukcji tego samego typu (np. wałów stopniowych) związana jest fundamentalnie z ich przydatnością do spełnienia określonej funkcji.

Klasyfikacja to przyporządkowanie elementowi konkretnej etykiety (identyfikującej klasę), pozwalającej na dalsze interpretowanie grup wg. przypisanych klasom cech. Istnieją różne metody klasyfikacji a także ograniczenia jakimi się one cechują (np. wyłączością elementów, precyzją określania przynależności do klasy, relacjami występującymi pomiędzy klasami). Modele te, pozwalają na tworzenie zbiorów informacji zarówno definiujących klasy jak i pozwalających na ich odpowiednie interpretowanie (wg. reguł stosowanych wobec klasyfikowanych elementów).

Analizę problematyki tworzenia klas używanych przez modele klasyfikacje, oparto o tworzenie struktur informacji (np. list, drzew, grafów) reprezentujących wiedzę zawartą w schemacie funkcji klasyfikacji. Informacja wynikająca z interpretacji wyniku klasyfikacji (przyporządkowania elementu do grupy reprezentowanej przez klasę) jest więc uzasadniona regułami porządkowania zbioru.

Na potrzeby prowadzonych badań, przyjęto model klasyfikacji oparty o funkcje elementu reprezentowaną przez jego leksykalną formę: konstruktorską nazwę części mechanicznej, matematyczną nazwę obiektu geometrycznego oraz fizyczną nazwę cechy obiektu elementarnego. Ze względu na istnienie wielu nawiązań do obiektowej reprezentacji danych, naturalnym wydaje się uzupełnienie modelu klasyfikacji o jedną z podstawowych cech tego paradygmatu informacyjnego - dziedziczenia kontekstu.

Możliwości dziedziczenia informacji definiujących klasy części mechanicznych zostały związane z charakterem leksykalnym opisu części maszyn i ich obiektów elementarnych. Klasa reprezentująca *korpusy* jest więc zbiorem konstrukcji zawierających kilka podzbiorów konkretyzujących zakres konstrukcji w odniesieniu do ich funkcji np. *korpus przekładni ślimakowej*, *korpus silnika*, *korpus obrabiarki*. Podobną zależność można zaobserwować w innych konstrukcjach mechanicznych, np. *wał korbowy* jest elementem podzbioru *wał* i jest elementem o odmiennej charakterystyce niż *wał wielo-stopniowy* czy *wał giętki*.

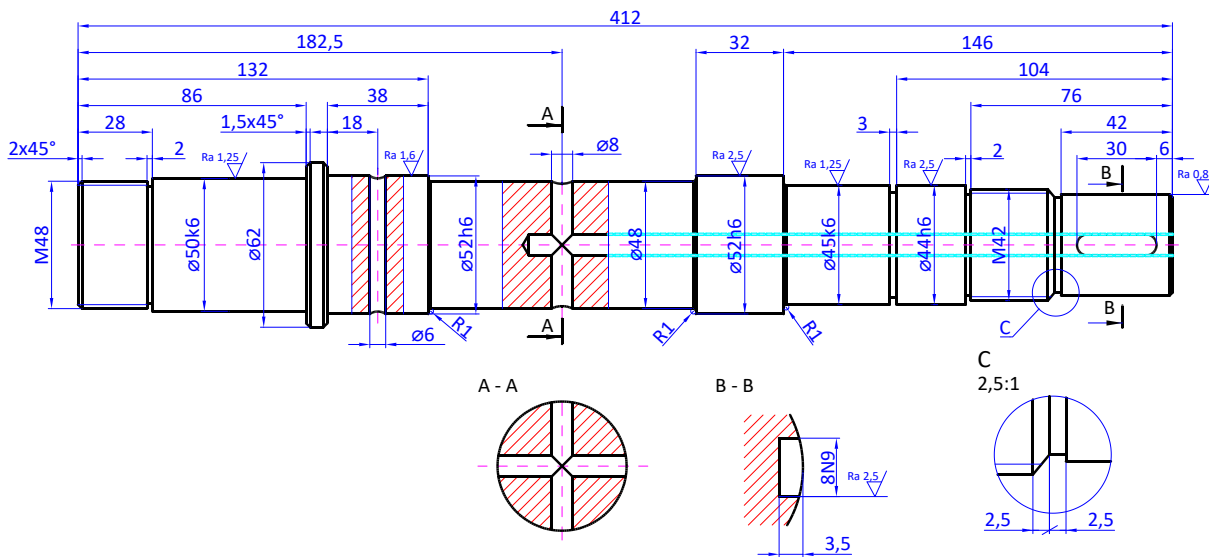


Rysunek 3.12: Walek wielostopniowy nr 1

Wszystkie konstrukcje, które można uznać za efektywne korpusy - spełniać będą funkcję szkieletu konstrukcyjnego pozwalającego na osadzenie w nim pozostałych elementów konstrukcji. Funkcję tą można oceniać w kontekście wytrzymałości konstrukcji, sztywności punktów zaczepienia elementów podtrzymywanych przez korpus oraz bardziej szczegółowych czynników (np. dostosowanie kanałów przepływowych). Ze względu na odmienność zadań i sposobów ich realizacji zazwyczaj wymagane jest dokładne określenie funkcji spełnianej przez zadany element będący częścią całej konstrukcji.

Model klasyfikacji przyjęty w prowadzonych pracach badawczych powinien pozwalać na przypisanie konkretnego korpusu (np. rys. 3.9) zarówno do klasy *korpus* jak i *korpus przekładni ślimakowej*. Zastosowanie techniki dziedziczenia pomiędzy klasami zdefiniowanymi w przyjętym modelu klasyfikacyjnym, pozwala na zachowanie i późniejszą interpretację informacji o relacji pomiędzy klasą *korpus* a klasą *korpus przekładni ślimakowej*. Dziedziczenie pozwala również na powiązanie ze sobą wielu klas (np. *korpus przekładni ślimakowej*, *korpus silnika*) poprzez wspólnego przodka - *korpus*. Zalety tego podejścia uwidaczniają się przy klasyfikacji mniejszych części maszyny, gdzie tuż po przypisaniu odpowiedniej klasy obiektowi elementarnemu - można wykryć antywzorcowe wartości przypisanych mu cech konstrukcyjnych. Możliwe to jest przy porównywaniu nawet najprostszych konstrukcji (np. rys. 3.5), gdzie informacja o kątach sąsiadujących ze sobą obiektów (o określonych klasach) może informować o błędzie w konstrukcji.

Zasadnym wydaje się przede wszystkim porównywanie ze sobą cech konstrukcyjnych obiektów elementarnych charakteryzujących się nie tylko spełnieniem jed-



Rysunek 3.13: Walek wielostopniowy nr 2

nakowej funkcji, ale również podobną strukturą realizującą kauzalizm konstrukcji. W tym przypadku, klasyfikacja oparta o definicje leksykalne pozwala na odpowiednie uszczegółowienie definicji za pomocą dodatkowych słownych oznaczeń definiujących (w przyjętym modelu klasyfikacji) podklasy nadrzędnego węzła konstrukcji.

Przypisanie klasy *walek wielostopniowy* obu z projektów (rys. 3.12, 3.13) pozwala na uspołnienie interpretacji struktury ich obiektów elementarnych oraz zdefiniowanych dla nich cech konstrukcyjnych. Mimo istotnych różnic w konstrukcji wszystkich rozwiązań konstrukcyjnych typu: *wał stopniowy*, typy elementów składowych i ich cech powtarzają się według schematów uzależnionych od funkcji danego obiektu elementarnego oraz jego nazwy leksykalnej. Możliwość przeprowadzenia dekompozycji konstrukcji opartej o funkcję elementu, pozwala ocenić jakość realizacji zadanych funkcji przez wszystkie części składowe projektu.

Zalety przechowywania informacji w przyjętym modelu klasyfikacyjnym wynikają również z możliwości użycia klas do tworzenia hierarchicznych kontekstów interpretacji elementów. Zakładając istnienie powtarzających się cech i struktur konstrukcji, możemy również zaobserwować relację występującą pomiędzy klasami zawartymi w innych klasach. Nie jest to relacja dziedziczenia, a raczej reprezentuje wykonanie funkcji przez podrzędny element w kontekście funkcji realizowanej przez nadrzędną część maszyny (np. otwór spustowy w korpusie przekładni ślimakowej).

Przyjęta metoda klasyfikacji pozwala na znaczne zwiększenie podobieństwa porównywanych elementów (tej samej klasy), a tym samym znaczne uproszczenie procesu porównywania konstrukcji. Użycie referencyjnej klasyfikacji struktur (np. PKN czy ISO) pozwala na wybór standardu nazewnictwa, struktury cech struktur i odpowiadających im metod obliczeniowych. Mimo oczywistych zalet, znacznie zwiększa to

złożoność prowadzonych prac badawczych, nie dostarczając dodatkowych czynników poznawczych ponad możliwości prostej analizy nazw konstrukcyjnych. Szeroki zakres istniejących standardów wymiany i przetwarzania danych (np. ISO 10303) skłania do poszukiwania metod integrowania danych obiektowych ze stosowanymi dotąd metodami reprezentacji wektorowej. Wymaga to opracowania przekształceń ułatwiających klasyfikację i jednoznaczną interpretację danych opisujących elementy mechaniczne.

Ze względu na elastyczność struktur języka naturalnego, proponowana metoda klasyfikacji części maszyn pozwala na tworzenie klas wzajemnie się nie wykluczających (np. *korpus*, *kadłub*). W takich przypadkach, definiowany jest dodatkowy kontekst funkcji zdefiniowanej dla konstrukcji, który ze względu na swoją odmienność - identyfikowany jest odmienną etykietą leksykalną.

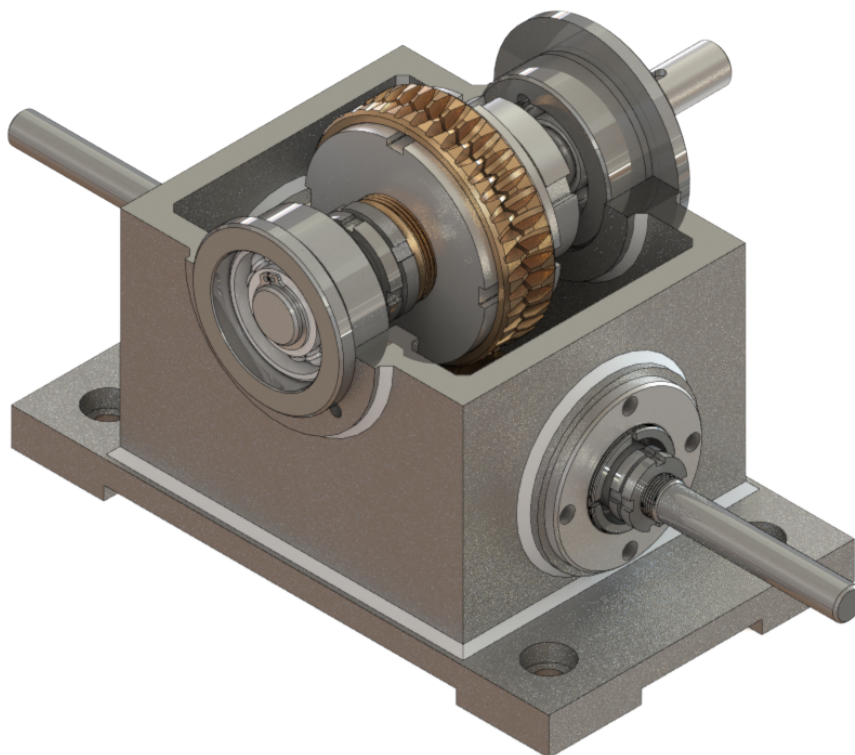
Sposób interpretacji opisów cech konstrukcji, uzależniony jest w pełni od zastosowanych modeli numerycznych do wskazania podobieństwa opisów konstrukcji. Model klasyfikacyjny, zdefiniowany na potrzeby weryfikacji opracowanego symbolicznego zapisu cech konstrukcji KXML pozwala na koncepcyjne łączenie definicji cech konstrukcyjnych z wielu obiektów oraz na wykrywanie powtarzających się schematów węzłów czy cech konstrukcyjnych.

### 3.3 Cechy konstrukcji mechanicznych

Wyróżnikiem tworzonego modelu klasyfikacji części maszyn jest możliwość grupowania konstrukcji realizujących zbliżoną funkcję. Dopiero konkretne cechy konstrukcyjne pozwalają na ocenę jakości z jaką weryfikowana część mechaniczna będzie spełniała zadaną jej funkcję. Cechy elementów mechanicznych (np. sztywność korpusu) są wynikiem kauzalizmy zdefiniowanego przez zastosowane w nich rozwiązania konstrukcyjne. Przykładowo, sztywność korpusu przekładni ślimakowej, w sposób bezpośredni będzie uzależniona od istnienia i umiejscowienia ożebrowania, które może dodatkowo wzmocnić konstrukcję.

Dokonując dekompozycji struktury części mechanicznej na obiekty elementarne (wg. spełnianej przez nie funkcji), zaobserwować można jak złożenie cech podrzędnych elementów wpływa na sposób działania całości konstrukcji. Pogłębiając dekompozycję symbolicznego opisu modelu konstrukcji mechanicznej, uwidaczniają się cechy pośrednich elementów struktury, które w sposób naturalny definiują opis elementy składowe funkcji nadrzędnej konstrukcji.

Podjęciem się identyfikacji cech konstrukcji (np. korpusu z zamontowanym ślimakiem i ślimaczną rys. 3.14), należy zwrócić uwagę na ich odpowiednie przypisanie do poziomu drzewa dekompozycji części mechanicznej na obiekty elementarne. W pierwszym kroku, projekt konstrukcji korpusu (rys. 3.14) można przypisać ogóln-



**Rysunek 3.14:** Wizualizacja 3D przekładni ślimakowej [60]

nej grupie - spełniającej funkcję przeniesienia mocy. Głównym działaniem opisującym jakość spełnienia tego założenia jest *sprawność* wynikająca bezpośrednio ze sposobu połączenia wirnika śrubowego (ślimaka) z kołem zębatym (ślimacznicą). Aby uzyskać wysoką jakość spełnienia tej stosunkowo prosto zdefiniowanej funkcji mechanizmu należy zadbać o szereg czynników, cech konstrukcyjnych (m.in. sztywność korpusu, odpowiednie wymiary i ułożenie części).

W ramach dalszej dekompozycji przekładni ślimakowej, po rozłożeniu ślimacznicy na jej główne części, możemy przeanalizować koło zębate (rys. 3.15). Cechy konstrukcyjne tego koła i jakość realizowania zadanej mu funkcji, mają zarówno:

- *bezpośredni* wpływ na wydajność przekładni - posiadają cechy bezpośrednio wpływające na podstawowe cechy używane do wyznaczenia sprawności przekładni,
- *pośredni* wpływ na wydajność przekładni - posiadają cechy wpływające na inne czynniki definiujących jakość przekładni (np. jakość mocowania koła zębatego na wale ślimacznicy).

Wyidealizowana, matematyczna metoda obliczenia sprawności przekładni - pozwala na określenie maksymalnej (idealnej) sprawności. W rzeczywistej eksploatacji urządzenia zaobserwować można jednak znacznie więcej pośrednich czynników (m.in. sztywność korpusu, jakość łączeń, spawów, ilość generowanego ciepła).



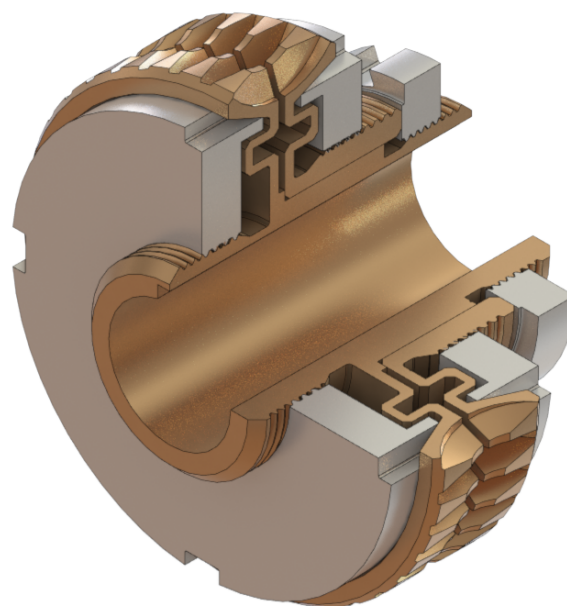
Czynniki niebezpośrednio wpływające na matematyczny model sprawności przekładni, w sposób oczywisty są deterministyczne i mogą być wyznaczone z użyciem odpowiednio skonstruowanego modelu matematycznego. Niestety ze względu na złożoność obecnie tworzonych konstrukcji mechanicznych - znacznie utrudnione jest stworzenie modelu matematyczno-fizycznego do przeprowadzenia obliczeń np. sprawności konstrukcji przekładni ślimakowej, w funkcji czasu i zmiennych warunków pracy.

Zamiast ręcznych obliczeń, zachowanie złożonych konstrukcji można zweryfikować z użyciem programów symulujących zachowanie odpowiednio zaprogramowanej konstrukcji w zadanych kontekstach kauzalnych. Dopiero po wykonaniu symulacji lub testów w rzeczywistości, można określić faktyczne cechy projektowanej części maszyny.

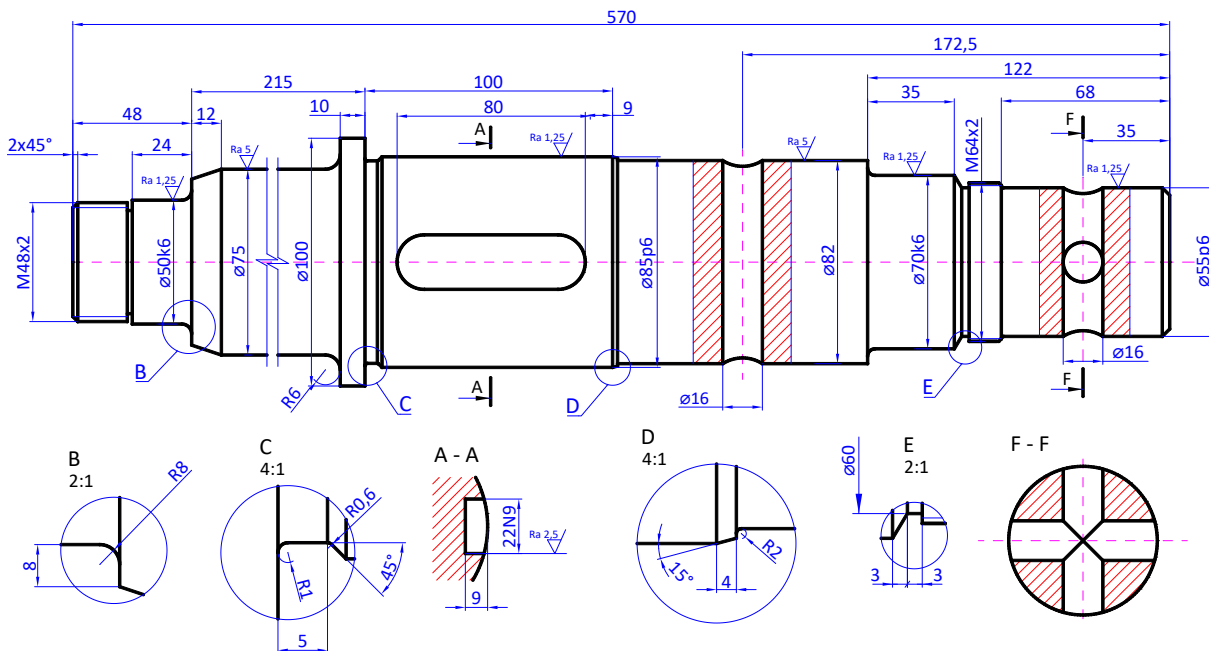
Uwidacznia się tutaj ograniczenie tradycyjnych metod obliczeniowych, które uniemożliwiają tworzenie dowolnie złożonych modeli obliczeniowych (np. dla każdej z projektowanych konstrukcji), które mogłyby zostać stworzone, obliczone i zinterpretowane przez ludzi w rozsądnych granicach czasowych.

O ile komputeryzacja wykładniczo złożonych obliczeń nie stanowi już znacznego problemu, to ciągle brakuje możliwości automatycznego tworzenia modeli zarówno symulacyjnych jak i tradycyjnych matematyczno-fizycznych. W każdym z możliwych modeli, istotna jest kompletność informacji opisujących cechy konstrukcji, ich kontekst i relacje pomiędzy nimi zachodzące. Ze względu na pracę przy dużych obciążeniach, możliwe jest tworzenie nowatorskich projektów (3.15) realizujących funkcje częściowe mechanizmu w sposób innowacyjny, wcześniej niespotykany. Mimo swej oryginalności, po dokonaniu dekompozycji na obiekty elementarne, możliwe jest zaobserwowanie podobnych, nawet najprostszych cech konstrukcyjnych (np. gwint), które pozwolą na dokonanie weryfikacji nawet w najprostszej części konstrukcji.

W trakcie dekompozycji struktury, wraz z upraszczaniem wydzielanych obiektów, zaobserwować można zmniejszający się poziom złożoności ich cech i coraz większe ich zbliżenie do podstawowych właściwości fizycznych. Równoległe redukowany jest poziom abstrakcji i złożoności jednostek używanych do opisu cech obiektu i realizowanej przez niego funkcji.



**Rysunek 3.15:** Wizualizacja 3D koła zębatego ślimacznicy [60]



Rysunek 3.16: Walek wielostopniowy nr 3

W przypadku części mechanicznych o umiarkowanej złożoności (np. rys. 3.16), zaobserwować można stosunkowo płytką strukturę drzewa powstałego z dekompozycji konstrukcji na obiekty elementarne. Poszczególnym częściom wałka przedstawionym w sposób niejawnny na rysunku technicznym, przypisana jest konkretna funkcja (np. podstawa do osadzenia łożyska). Tym samym, zdefiniowane są oczekiwania jakościowe wobec zdefiniowanych przez projektanta cech konstrukcyjnych (np. stosunek chropowatości powierzchni do rodzaju obróbki).

Rysunek techniczny, pozwala na bardzo szczegółowy opis konstrukcji i ograniczony jest jedynie dostępną przestrzenią do rysowania. Niestety notacja ta nie wizualizuje wszystkich dostępnych cech konstrukcji. Rysunki techniczne przedstawiają wybrane grupy cech konstrukcyjnych, często ograniczone do podstawowych wartości fizycznych. Porównywane w ramach prowadzonych badań cechy konstrukcji, często są informacją funkcjonującą w sposób niejawnny w projekcie konstrukcji i antywzorach (np. rozdz. 4). Kluczowym elementem porównania ze sobą dwóch części mechanicznych jest możliwość odnalezienia tych samych cech konstrukcyjnych w różnych projektach części mechanicznych i porównanie ich znormalizowanych wartości w możliwie podobnych kontekstach realizowanych przez nie funkcji. Połączenie definicji cech konstrukcyjnych z wielu elementów tej samej klasy jest więc czynnikiem, o który warto rozszerzyć rozważania i prowadzone analizy.

## 3.4 Zapisy struktury konstrukcji mechanicznych

Odróżniając dane od informacji można założyć, że *dane* to zestaw zapisów reprezentujących fakty, a *informacje* to wzorce - niejawne relacje oraz oczekiwania interpretacyjne zdefiniowane w kontekście danych [139]. Rozpatrując zapisy konstrukcji mechanicznych w celu wyboru reprezentacji opisów cech konstrukcji pozwalających na jawne odwzorowania relacji strukturalnych, dokonano przeglądu możliwości popularnych formatów zapisu danych konstrukcyjnych.

Oczywista, najpopularniejszą formą reprezentacji wiedzy o konstrukcjach mechanicznych jest rysunek techniczny. Od tysiącleci, ludzkość tworzy rysunki *symbolizujące* obiekty fizyczne i sposób ich działania. Kluczowe cechy konstrukcji zamieniane są na ich symboliczną reprezentację, tak aby jak najwierniej oddać zamysł kauzalny i informację o sposobie konstrukcji danego obiektu. Jak każda z form zapisu, rysunki techniczne wymagają przyjęcia pewnych wspólnych konwencji stosowania symboli do reprezentowania określonych elementów opisywanego obiektu.

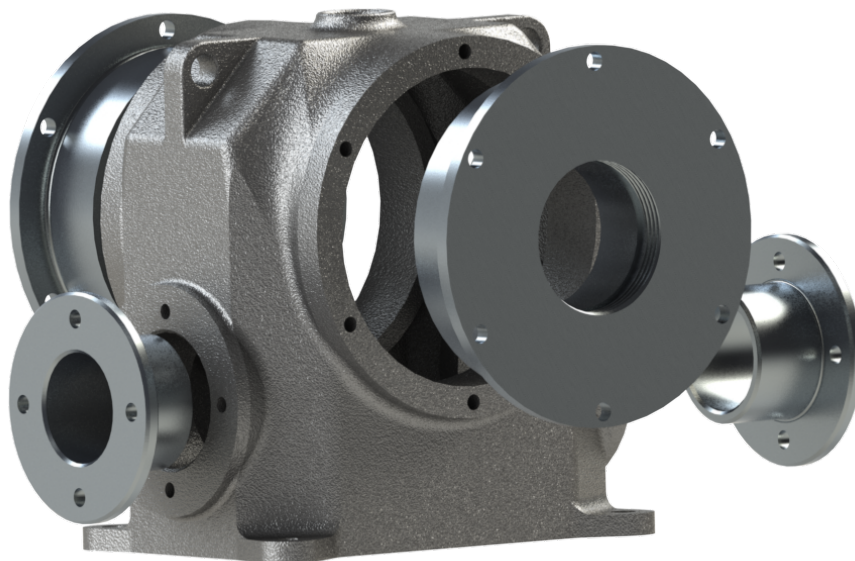
Kluczowym dokumentem definiującym międzynarodowy standard rysunków technicznych jest ISO 128. Zawiera on kompleksowe wytyczne definiujące podstawy symbolicznego języka komunikacji w oparciu o linie, widoki, przekroje oraz sekcje. Wszystkie ze zdefiniowanych w nim reguł dotyczą jednak konstrukcji abstrakcyjnych - nie zdefiniowanych w sposób jawny, będących interpretacją wizualizacji opisu. Sama konstrukcja nie zawiera jednak linii, a przekroje, widoki i sekcje służą do ułatwienia zrozumienia konstrukcji oraz uwypuklenia istotnych szczegółów. Techniki i wiedza zawarta w standardzie ma na celu redukcję ograniczeń wynikających z dwuwymiarowego, ograniczonego wymiarami papieru na którym projekt jest przedstawiony.

Wraz z rozwojem technik komputerowych, powstał szereg metod i formatów zapisu danych tworzących kolejną warstwę abstrakcji - pozwalającej na tworzenie rysunków technicznych ze wsparciem komputera. Programy komputerowe klasy CAD<sup>4</sup> znacznie przyspieszają działania konstruktorów, pozwalając jednocześnie na zachowanie zgodności formatu prac wynikowych z wymaganiami rysunku technicznego. O ile metody, techniki tworzenia rysunków technicznych zostały unowocześnione, to nie wykorzystywane są w pełni możliwości nowych sposobów reprezentacji informacji o konstrukcji. Nadal symboliczna reprezentacja części mechanicznych ograniczana jest przez najpowszechniejszą formę dwuwymiarowego przekazu informacji.

Trójwymiarowe modele konstrukcji mechanicznych (np. rys. 3.14, 3.15, 3.17) komunikowane za pomocą mediów redukujących początkową ilość informacji. Nawet ta rozprawa doktorska, ze względu na jej papierowy format, prezentowana jest w formacie redukującym ilość informacji dostępnych w jej źródłowym zapisie symbolicznym.

---

<sup>4</sup>z ang. Computer Aided Design



**Rysunek 3.17:** Wizualizacja 3D korpusu z pokrywami i tulejami łożyskowymi

Oczywiste wydają się zalety płynące z wykorzystania szerszego zakresu technik komputerowych do reprezentowania i komunikowania informacji o konstrukcjach mechanicznych. Przekazanie projektu konstrukcji mechanicznej jedynie w formie papierowego rysunku wydłuża proces produkcyjny, który w dominującej większości przypadków jest już w pełni skomputeryzowany.

Równoległe do specjalistycznych metod komputerowego tworzenia rysunków technicznych, stworzony został szereg metod tworzenia i graficznej wizualizacji trójwymiarowych obiektów. Ewolucja sposobów komputerowej reprezentacji obiektów fizycznych wydaje się daleko przekraczać ograniczenia definiujące rysunek techniczny czy standard ISO 128. W porównaniu do technik geometrycznych, dynamiczna forma reprezentacji, jej wielowymiarowy opis i analiza wydają się czynnikami uwidaczniającymi przewagę opisu konstrukcji zdefiniowanego w oparciu o techniki informacyjne. Symboliczna, komputerowa reprezentacja konstrukcji części mechanicznych oparta jest o techniki obliczeniowe i paradygmaty reprezentacji danych (np. szeregowy, funkcyjny, deklaratywny, obiektowy).

W tabeli 3.1 wskazane zostały kluczowe grupy informacji przekazywanych w projektach konstrukcyjnych. Każda z analizowanych grup informacji reprezentowana jest w sposób szczególny dla stosowanych standardów, narzędzi oraz wiedzy projektanta. W każdej z form zapisu, możliwe jest przyjęcie dowolnego stopnia szczegółowości oraz bardzo odmienne zdefiniowanie roli i funkcji realizowanej przez każdy z rozpatrywanych formatów. Informacja o kształcie, jako forma opisu konstrukcji mechanicznych, obiektów fizycznych funkcjonujących w świecie rzeczywistym i jest podstawą

	Szkic	Rysunek uproszczony	Rysunek techniczny	Wizualizacja 3D	Wektorowy model 3D	Obiektowy model 3D
Kształt	✓	✓	✓	✓	✓	✓
Wymiary	×	×	✓	×	✓	✓
Cechy	×	×	✓	×	✓	✓
Struktura	✓	✓	✓	✓	×	✓
Relacje	✓	×	×	×	×	×

**Tabela 3.1:** Rodzaje informacji opisujących konstrukcje mechaniczne

każdego ze wskazanych rodzajów symbolicznych zapisów cech konstrukcji (tab. 3.1). Zdefiniowanie i efektywna komunikacja kompletnych *wymiarów*, wymaga zastosowania dodatkowych narzędzi dostępnych jedynie w rysunku technicznym, wektorowym i obiektowym opisie konstrukcji. Podobnie, *cechy konstrukcyjne* w sposób kompletny mogą być reprezentowane jedynie w formie wspierającej opis z użyciem normatywnych, standaryzowanych symboli (np. rysunek techniczny, modele komputerowe).

Informacje o strukturze konstrukcji (bezpośrednio związanej z kształtem) są reprezentowane przez wszystkie z analizowanych formatów z wyłączeniem wektorowego modelu 3D. Oczywiście możliwe jest tworzenie obiektów i ich grupowanie w ramach wektorowego rysunku 3D, jednak nie jest to powszechną praktyką komunikacji informacji, a użyte symbole zapisu wektorowego często tworzą nadmierny, dodatkowy zestaw obiektów pełniących jedynie funkcję wizualną, nie komunikującą informacji o cechach konstrukcyjnych.

O ile informacje opisujące kształt konstrukcji są obecne w każdej z analizowanych metod zapisu, to zaobserwować można znaczne różnice wynikające z ograniczeń w reprezentacji danych: dokładności wymiarów wszystkich obiektów elementarnych, możliwości i precyzji opisu cech konstrukcji, strukturze dekompozycji na fundamentalne części oraz formalizacji opisu relacji zachodzących pomiędzy częściami konstrukcji.

Warto wskazać również brak możliwości zawarcia koncepcyjnych informacji w formatach innych niż szkice. Wynika to prawdopodobnie z trudności w usystematyzowaniu sposobu reprezentacji bardzo odmiennych co do swej natury relacji zachodzących pomiędzy częściami mechanizmu.

Można również zaobserwować powszechne użycie technik wymiarowania i symbolicznej reprezentacji wartości cech konstrukcyjnych, jednak ich użycie maleje wraz z następującą obecnie popularyzacją technik reprezentacji modeli 3D w przestrzeni i rozszerzonej rzeczywistości.

### 3.4.1 ISO 10303, ISO 13567, ISO 13584

Znaczna odmienność komputerowych formatów opisu konstrukcji mechanicznej od jej leksykalnej oraz rzeczywistej struktury dekompozycji, znacznie utrudnia interpretację niezależną od założeń i funkcji spełnianej przez program definiujący dany format (np. z formatem DXF najłatwiej pracuje się w środowisku AutoCAD). Zwiększająca się ilość programów komputerowych, a tym samym formatów opisu cech konstrukcji, stwarza dodatkowe wyzwania producentom maszyn - potrzebę uniknięcia błędów w translacji formatów danych oraz wzrost kosztów związanych wyłącznie z obsługą procesów informatycznych.

Budując na doświadczeniach z wcześniejszych propozycji standardów (francuski SET, niemiecki VDAFS, amerykański IGES, itp.), międzynarodowa organizacja definiująca standardy ISO (z ramienia Polski reprezentowana poprzez PKN<sup>5</sup>) zdefiniowała wspólny standard wymiany informacji opisujących również konstrukcje mechaniczne - ISO 10303. Standard ten ma za zadanie ujednolicić format wymiany informacji technicznych pomiędzy programami komputerowymi typu: CAE<sup>6</sup>, CAD<sup>7</sup>, CAM<sup>8</sup>, CNC<sup>9</sup>.

W ramach bieżących standardów utrzymywanych przez organizację ISO, powiązania do prowadzonych prac badawczych można odnaleźć również w ISO 13567 - standardzie definiującym organizację i nazewnictwo warstw opisu (typowego dla programów typu CAD) cech konstrukcyjnych tworzących w całości opis konstrukcji. Istotnym czynnikiem dla wskazania tego standardu jest fakt, że grupuje on wybrane cechy konstrukcji w warstwy, i identyfikuje je z przypisaną im funkcją. Ze względu na odmienny od poszukiwanego, charakter przyjętej klasyfikacji warstw, standard ten tylko częściowo jest przydatny w prowadzonych badaniach. Użycie w badaniach modeli proponowanych przez ISO nie wydaje się praktyczne ze względu na stosunkowo wysoki poziom szczegółowości zdefiniowanych w standardzie warstw oraz ich odmienność od struktur leksykalnych.

Kolejnym istotnym standardem powiązanim z prowadzonymi pracami badawczymi jest ISO 13584. Standard ten definiuje metody definiowania i katalogowania

<sup>5</sup>Polski Komitet Normalizacyjny - krajowa organizacja odpowiadająca za definiowanie standardów. Od 2002 roku jednostka budżetowa, członek również IEC, CEN, CENELEC.

<sup>6</sup>CAE - z ang. Computer Aided Engineering Analysis. Wsparta komputerowo analiza inżynierska.

<sup>7</sup>CAD - z ang. Computer Aided Design. Wsparte komputerowo projektowanie [maszyn].

<sup>8</sup>CAM - z ang. Computer Aided Manufacturing. Wsparta komputerowo produkcja [maszyn].

<sup>9</sup>CNC - z ang. Computerized Numerical Control. Skomputeryzowana kontrola numeryczna.

części mechanicznych. Należy podkreślić jego część - ISO 13584-32, która definiuje język symbolicznej, ontologicznej reprezentacji konstrukcji w oparciu o XML i zgodnej z klasyfikacją zdefiniowaną w standaryzowanych słownikach ISO 13584 i IEC 61360. Praktycznie każdy z głównych systemów CAD/CAM, zawiera moduł programowy pozwalający na odczyt i zapis danych w jednym z protokołów aplikacji<sup>10</sup> zgodnej ze standardem ISO 10303 STEP<sup>11</sup>

Niestety wskazane w standardach procesy normalizacji i zapisu informacji o konstrukcjach mechanicznych, nie definiują w pełni danych opisujących strukturę (w odniesieniu do funkcji poszczególnych elementów dekompozycji). Złożoność stosowanych formatów zapisu danych i ich wzajemne zależności znacznie zwiększają zakres analizy, nie dostarczając gotowych (z punktu widzenia prowadzonych badań) metod zapisu, które pozwoliłyby przeprowadzić planowane badania bez użycia dalszych, pośrednich formatów symbolicznej reprezentacji opisu cech konstrukcji. Mimo powyższego, wydaje się zasadnym uwzględnienie w dalszych badaniach elementów zapewniających zgodność opracowanej metody z międzynarodowymi standardami komputerowej wymiany informacji o konstrukcjach mechanicznych.

Prowadzone są również prace mające na celu zintegrowanie produkcyjnych modeli informacyjnych. Integracja danych i procesów kontrolowanych przez programy komputerowe klasy PLM<sup>12</sup>, MES<sup>13</sup>, CRM<sup>14</sup>, ERP<sup>15</sup> i HRM<sup>16</sup> jest postrzegana jako bardziej kompletnie zdefiniowane środowisko wytwarzania części maszyn. We wstępie zidentyfikowanych antywzorcach i błędach konstrukcyjnych, doszukać się można zależności wynikających z szerokiego zakresu przyczyn i odpowiadających im standardów (np. błędy w planowaniu produkcji, niedostosowanie zadań operacyjnych do ograniczeń konstrukcyjnych maszyny).

### 3.4.2 Wielowymiarowy opis konstrukcji

Potrzeba wielowymiarowego zapisu widoczna jest również w konieczności stosowania wielowarstwowych widoków przedstawiających poszczególne systemy, rozwiązania, technologie, czy inne grupy wiedzy konstruktorskiej. W analizowanych komputerowych zapisach, ta kluczowa cecha mechanizmów prowadzi do znacznej złożoności standardów (np. ISO STEP - gdzie każdy z wymiarów reprezentowany jest przez przy-

<sup>10</sup>w EU stosowany jest to zazwyczaj protokół AP-214, w USA AP-203.

<sup>11</sup>STEP - z ang. Standard for the Exchange of Product model data. Standard wymiany modeli danych produktowych.

<sup>12</sup>PLM - z ang. Product Lifecycle Management. Zarządzanie cyklem życia produktu.

<sup>13</sup>MES - z ang. Manufacturing Execution System. System zarządzania produkcją.

<sup>14</sup>CRM - z ang. Customer Relationship Management. Zarządzanie relacjami z klientem.

<sup>15</sup>ERP - z ang. Enterprise Resource Planning. Zarządzanie zasobami przedsiębiorstwa.

<sup>16</sup>HRM - z ang. Human Resources Management. Zarządzanie zasobami ludzkimi.

pisaną mu warstwę lub klasę) lub do bardzo wysokiego poziomu abstrakcji (np. ISO CAD gdzie standard definiuje jedynie fundamentalne elementy opisu).

Opracowana metoda zapisu cech konstrukcji (rozdz. 5) pozwala na elastyczne dostosowanie zakresu i ilości warstw opisujących część maszyny. Wynika to z przyjęcia wysokiego poziomu abstrakcji, zorientowanego na fundamentalne elementy zapisu obiektowego raczej niż reprezentację rysunkową. Struktura reprezentacji danych, inspirowana sprawdzonymi technikami obiektowymi i rozszerzalnym językiem reprezentacji danych (XML), wydaje się właściwym narzędziem do reprezentacji podstawowych cech konstrukcyjnych badanych antywzorców.

Przyjęta notacja ma za zadanie umożliwiać przenoszenie informacji nie opisujących w pełni struktury czy relacji oraz być elastyczna w zakresie nazewnictwa i formatowania - także w formie tekstowej na potrzeby analizy przez ludzi. Wybór ten uzależniony jest również od praktycznego zastosowania na potrzeby konkretnych metod numerycznych niekoniecznie przeprowadzających analizę wizualną czy geometryczną.

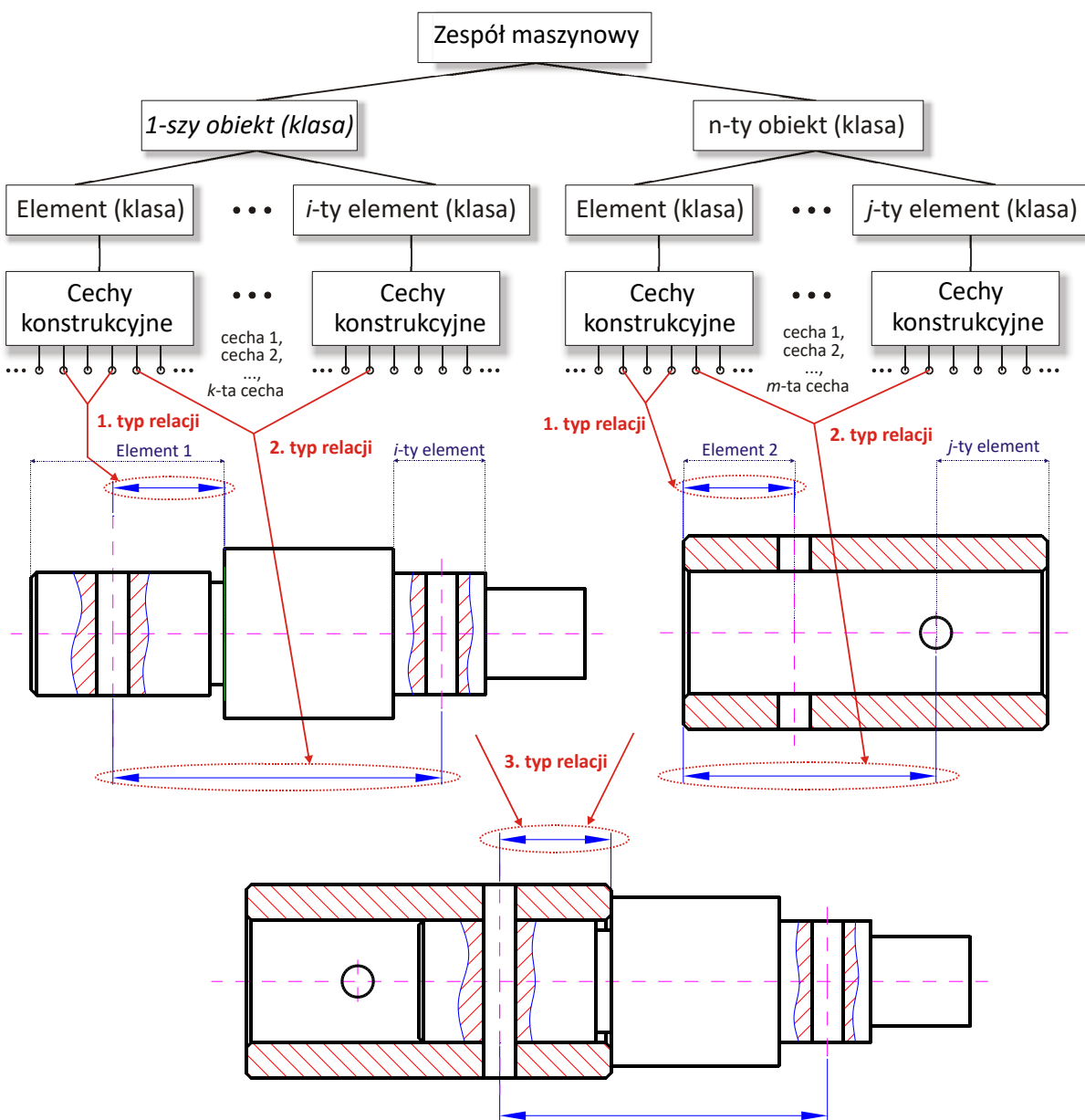
### 3.5 Relacje pomiędzy elementami konstrukcji

Kluczowymi elementami definiującymi strukturę konstrukcji mechanicznej są relacje występujące pomiędzy składowymi obiektami oraz ich geometryczne własności. W odróżnieniu od najprostszego obiektu o zdefiniowanych cechach, istnienie relacji strukturalnych definiuje podstawową cechę konstrukcji - jej strukturę. Rysunek 3.18 przedstawia dekompozycję koncepcyjnej struktury zespołu maszynowego, który w ramach opisu cech konstrukcyjnych swoich części składowych pozwala na wskazanie trzech głównych grup relacji geometrycznych.

Pierwszy typ relacji wynika z wpływu odległości wymiarów geometrycznych na bezpośrednio sąsiadujące ze sobą obiekty składowe elementu konstrukcji. Ze względu na niski stopień złożoności (pozwalający konstruktorom na szybkie, domyślne obliczenia), relacje te są często reprezentowane niejawnie w rysunkach technicznych (np. jako złożenie innych wymiarów). Informacje reprezentowane przez ten typ relacji, definiują podstawowe cechy konstrukcji (np. odległość otworu od wewnętrznej krawędzi czopu) oraz zależności pomiędzy wpływającymi na siebie bezpośrednio częściami (np. odległość otworu od zewnętrznej krawędzi pokrywy).

Drugi typ relacji zachodzi pomiędzy obiektami składowymi nie sąsiadującymi ze sobą, o dowolnej lokalizacji, ale istotnym wzajemnym wpływie (z konstrukcyjnego punktu widzenia). Ze względu na zwiększony stopień złożoności, relacje na rysunku technicznym występują zazwyczaj w formie jawnej. Relacje te są kluczowe z punktu widzenia kauzalizmu konkretnego elementu ponieważ wskazują podstawową strukturę konstrukcji, jej istotnych cech i wartości im przypisanych.





Rysunek 3.18: Schemat zidentyfikowanych relacji geometrycznych

Typ 1 - relacje pomiędzy cechami sąsiadujących obiektów elementarnych jednej części.  
 Typ 2 - relacje pomiędzy cechami obiektów niewpływających na siebie bezpośrednio.  
 Typ 3 - relacje pomiędzy cechami oddzielnych elementów konstrukcji.

Trzeci typ relacji występujący pomiędzy częściami składowymi konstrukcji mechanicznych, grupuje czynniki opisujące wpływ części konstrukcyjnych poszczególnych części konstrukcji. W przypadku rysunku technicznego, tego typu relacje często są przedstawione w formie dodatkowych przekrojów i widoków, pozwalających na szczegółową analizę kluczowych elementów mechanizmu. Jednoczesne dopasowanie cech konstrukcyjnych wielu fragmentów konstrukcji jest często zadaniem znacznie utrudnionym, wymagającym synchronizacji wartości wielu cech konstrukcji (często z różnych dziedzin wiedzy).

### 3.6 Zapis wartości cech konstrukcyjnych

Zaobserwowane sposoby reprezentacji wiedzy konstrukcyjnej (np. rysunek techniczny, zapis wektorowy) zostały stworzone i dostosowane do potrzeb i wymagań tradycyjnych obliczeń. W ich ramach tworzony jest model matematyczny odzwierciedlający kluczowe cechy konstrukcji i kauzalizm mechanizmu. Cechy konstrukcyjne, nadając częściom maszyn ich unikalny charakter i efektywność realizowania zadanej im funkcji, są głównym elementem definiującym wiedzę konstruktorską. Aby odpowiednio zidentyfikować zakres definicji cechy konstrukcyjnej (zmaksymalizować ilość informacji odwzorowanych w tworzonym zapisie), należy dookreślić czynniki wpływające bezpośrednio na ich wartości [14, 81].

Nad pytaniem czym jest *wiedza* zastanawiali się już starożytni Grecy, i do dzisiejszych czasów nie udało się jeszcze w pełni uchwycić sedna tego słowa. Nie próbując rozwiązać tego odwiecznego, filozoficznego dylematu, przyjęto znacznie uproszczające problem założenie - wiedza konstrukcyjna to ustrukturalizowany zbiór wartości użytecznych do celów technologicznych. Dobre praktyki w komunikacji wiedzy konstrukcyjnej praktycznie w pełni ograniczają się do graficznego, symbolicznego zapisu cech konstrukcji w formie rysunku technicznego. Wydaje się więc zasadne oparcie prowadzonych prac badawczych o wiedzę konstruktorską opisaną w postaci rysunku technicznego, którą należy zapisać w postaci wymiernych wartości definiujących istotne cechy części mechanicznej.

Koncepcja *symbolicznej reprezentacji*, podobnie jak w przypadku *wiedzy*, jest bardzo ogólnie definiowana w źródłach naukowych. Przyjmując jednak uproszczoną definicję, można przyjąć że jest to powiązanie dwóch domen informacyjnych. Przyporządkowanie sobie dwóch z natury odmiennych konceptów, pozwala na ich interpretację w odmiennym kontekście, jednak z użyciem jednakowych, definiujących je cech. Zazwyczaj pierwsza z domen (reprezentująca) jest konkretniejsza, dosłowna, bardziej dostępna, łatwiej poddająca się analizie i szybsza w komunikacji. Kluczowym elementem konceptu *reprezentacji* jest formalny symbol przypisywany elementowi reprezentowa-

nemu. W reprezentacji słownej jest to słowo (jako część języka), w rysunku technicznym to linie, liczby, symbole (jako część standardu), w zapisie komputerowym to dane binarne (uszeregowane według zasad formatu danych).

Głównym czynnikiem definiującym symbol jest więc wspólna baza interpretacji i przyporządkowywania właściwych elementów do reprezentujących je symboli. Zapis wartości cech konstrukcyjnych tworzony jest jako złożenie symboli reprezentujących cechy części mechanicznej w usystematyzowanym formacie. Dalsze rozważania opisujące i definiujące metodę symbolicznej reprezentacji wartości cech konstrukcyjnych za pomocą języka KXML znajdują się w rozdziale 5.1.

### 3.6.1 Funkcje obliczeniowe

W trakcie prowadzonych badań, uwidoczniła się potrzeba reprezentacji wiedzy nie zawartej bezpośrednio w symbolach jawnie wskazanych na rysunkach technicznych. Cechy konstrukcji mechanicznych często ujawniają się dopiero w całości konstrukcji, w trakcie symulacji jej zachowania. Nie są one jednak w sposób bezpośredni wskazane w opisie projektu części mechanicznej i przez to, konstruktorzy identyfikują i analizują je w sposób domyślny lub czekają na wyniki symulacji aby określić ich wartość.

W obu z tych przypadków, dokonywane obliczenia oparte są o wartości stałe (wynikające z założeń, praw fizycznych), zmienne (np. mierzalne wartości fizyczne, symbole procesów technologicznych) oraz inne zdefiniowane jawnie wartości opisujące konstrukcję. Obliczenia te są funkcją, która wyznacza wartość cechy konstrukcyjnej, przyjmującą jako parametry wartości innych, istotnych dla obliczeń cech elementu.

### 3.6.2 Jednostki i normalizacja miar

Jednym z głównych mechanizmów normalizacji wartości cech konstrukcji są międzynarodowe systemy miar (np. Układ SI) definiujące podstawowe jednostki oraz pozwalające na określenie istotnych, pochodnych miar. Słownik dostępnych jednostek jest stosunkowo stałym zbiorem, i pozwala na zdefiniowanie opartej o fizyczną rzeczywistość podstawy do interpretacji konkretnych wartości cech konstrukcji.

Otwarta definicja cech konstrukcyjnych umożliwia również definiowanie własnych miar wraz z przypisanymi im interpretacjami i możliwościami (np. wzajemnego porównywania wartości). Jednostki miar można przyporządkować koncepcji komputerowych typów wartości, które definiują kontekst ich użycia i interpretacji wartości.

### 3.7 Niekompletność danych

Potrzeba uwzględnienia w badaniach tematyki niekompletności danych wynika z genezy pracy (rozdz. 2.1), gdzie niekompletność przetwarzanych informacji była kluczowym założeniem projektowym. Pozwoliło ono na uwypuklenie potencjalnych możliwości płynących z użycia antywzorcowych, cząstkowych danych do wcześniejszej analizy całości pakietu informacji technologicznych. Koncepcja ta, może również znaleźć swoje zastosowanie w analizie opisów projektów konstrukcji mechanicznych.

Niekompletność danych rozpatrywana jest również w kontekście braków kluczowych informacji definiujących wybrane cechy. Oznacza to, że użyte metody muszą uwzględniać nieprawidłowości wynikające nawet z błędów technicznych w przesyłaniu informacji. Elementem, które nie jest rozpatrywany w prowadzonych danych są przekłamania i niepożądane transformacje danych. Wydaje się jednak oczywistym, że czynniki te wykraczają poza obszar niekompletności danych konstrukcyjnych.

Oprócz kluczowego wpływu czynnika niekompletności opisu pozwalającego na wcześniejsze rozpoczęcie analizy, jest on również istotny dla racjonalizacji i redukcji złożoności prowadzonych obliczeń. Przetwarzanie komputerowe cechuje się znaczną szybkością obliczeń, jednak wymaga jawności informacji i ciągle nie zawiera pełnego zakresu wiedzy kontekstowej, specjalistycznej, popularnej w komunikacji między ekspertami. Modele klasyfikacyjne dostarczają możliwości nadania danym kontekstu interpretacyjnego oraz uwzględnienia w nich informacji niejawnych i opcjonalnych.

Ze względu na potrzebę identyfikacji antywzorców w niedokończonych projektach części maszyn (pozwalającą na redukcję czasu potrzebnego na odnalezienie błędu w projekcie), prowadzone prace uwzględniają techniki pozwalające zarówno na reprezentację domyślnych informacji jak i na braki danych na wszystkich poziomach opisu konstrukcji. Analiza możliwości reprezentacji niekompletnych opisów konstrukcji mechanicznych z użyciem zaproponowanej metody symbolicznego zapisu cech konstrukcyjnych została opisana w rozdziale 5.1.7

### 3.8 Charakterystyka zapisu cech konstrukcyjnych

Głównym elementem prowadzonych badań nad zastosowaniami antywzorców, było stworzenie odpowiedniego formatu reprezentacji wiedzy konstrukcyjnej. Format ten musi pozwalać na niekompletną, symboliczną reprezentację części maszyn.

Ze względu na znaczną rozpiętość stopnia złożoności konstrukcji mechanicznych, ich symboliczna reprezentacja (zamiast bezpośrednio mapować wszystkie możliwe ich rodzaje) powinna definiować abstrakcyjny szkielet reprezentujący model dekompozycji mechanizmu na obiekty elementarne [61, 123]. Przeprowadzona dekompozycja

	Szkic	Rysunek uproszczony	Rysunek techniczny	Wizualizacja 3D	Wektorowy model 3D	Obiektowy model 3D
Geometryczne	✓	✓	✓	✓	✓	✓
Strukturalne	✓	✓	✓	✓	×	✓
Konstrukcyjne	×	×	✓	×	✓	✓
Poznawczość	✓	✓	✓	×	×	✓
Dynamiczność	×	×	×	✓	✓	✓
Jawne dane	×	×	✓	×	×	✓
Jawne relacje	×	×	×	×	×	✓
Niekompletność	✓	✓	×	×	×	×

**Tabela 3.2:** Kluczowe różnice pomiędzy badanymi formami opisu konstrukcji

struktury obiektu, powinna odbywać się na podstawie funkcji przypisanej obiektowi. Pozwala to na porównywanie rozwiązań konstrukcyjnych mających za zadanie wykonać funkcje składowe, tworzące kompletną funkcję mechanizmu.

Ze względu na przypisanie modelowi klasyfikacyjnemu roli definiującej interpretację funkcji i rodzaju konkretnego obiektu elementarnego, model ten staje się zestawem reguł definiujących kluczowy dla zapisu konstrukcyjnego słownik. W ramach badanych metod opisu konstrukcji mechanicznych, do reprezentacji danych wybrano zapis obiektowy, ze względu na stosowane w nim techniki: dziedziczenia, kompozycji enkapsulacji oraz koncepcji instancji i klas.

Podsumowując analizę wymagań i sposobów opisu cech konstrukcji mechanicznych, należy podkreślić kryteria użyte do zdefiniowania oczekiwanego charakteru tworzonego zapisu (tab. 3.2). Rozszerzając analizę zapisu cech konstrukcji (rozdz. 3.4, tab. 3.1) należy ocenić czynniki zewnętrzne, nie definiowane bezpośrednio w formacie zapisu, a raczej będące efektem, konsekwencją stosowania wybranego sposobu symbolicznego opisu części mechanicznych.

Przyjęto, że możliwości zapisu cech konstrukcyjnych występują jedynie w formalnie kompletnie zdefiniowanych formatach. Wynika to z konieczności stworzenia wielowymiarowego opisu konstrukcji, który bez odpowiednich standardów normalizujących zgromadzone w nim dane, jest bardzo czasochłonny w użyciu. O ile oczywi-

ście można opisać wszystkie z cech w formacie szkicu, nie jest to jednak rozwiązanie stosowane w praktyce ze względu na jego niską praktyczność. Wynika ona z problemów w zrozumieniu złożonych reprezentacji symbolicznych, które zazwyczaj rozwiązywane są właśnie formalizacją standardu (w tym przypadku rysunku technicznego). Praktycznie wszystkie stosowane zapisy komputerowe cechują się wystarczającym poziomem formalizacji aby móc efektywnie reprezentować cechy mechanizmów. Szczególnym przypadkiem jest wizualizacja 3D, gdzie wizualna reprezentacja wszystkich cech konstrukcji wpływa negatywnie na fundamentalny zapis, obniżając jego czytelność i użyteczność.

Ocenę charakteru poznawczego zapisów komputerowych oparto o fundamentalną możliwość symbolicznej reprezentacji konstrukcji z poziomu rozpatrywanego zapisu. Jedynie zapis obiektowy pozwala na opis z użyciem symboli, które będą niosły potrzebne do analizy struktury informacje, w sposób naturalny dla metody reprezentacji. W przypadku rysunkowych technik, proces poznawczy jest wykonywany przez konstruktorów i tym samym metody te są w pełni dostosowane pod kątem reprezentacji danych w formie dostosowanej i naturalnej dla człowieka.

Należy również podkreślić dynamiczny charakter reprezentacji zapisów komputerowych. Dynamiczność ta wynika z możliwości tworzenia dowolnych perspektyw, przecięć, widoków i wielu innych transformacji ułatwiających analizę danych. Kolejnym istotnym czynnikiem dynamiczności zapisów komputerowych, jest możliwość proceduralnej reprezentacji danych, tworzenie i obliczanie funkcji, rekurencja i wiele innych nowatorskich technik informacyjnych używanych do reprezentacji wiedzy.

Jawność danych można zaobserwować zarówno w rysunku technicznym jak i komputerowym zapisie obiektowym. Ze względu na przyjęty w komputerowych formatach symboliczny sposób zapisu wektorowych modeli, ujawniają one dane konstrukcyjne dopiero po ich interpretacji - wydrukowaniu na ekranie lub na papierze. Niekompletność danych wydaje się dostępna jedynie w przypadku szkiców i rysunków uproszczonych. Wynika to z potrzeby budowania kompletnych (kompilujących się) modeli komputerowych oraz definicji rysunku technicznego.

## Rozdział 4

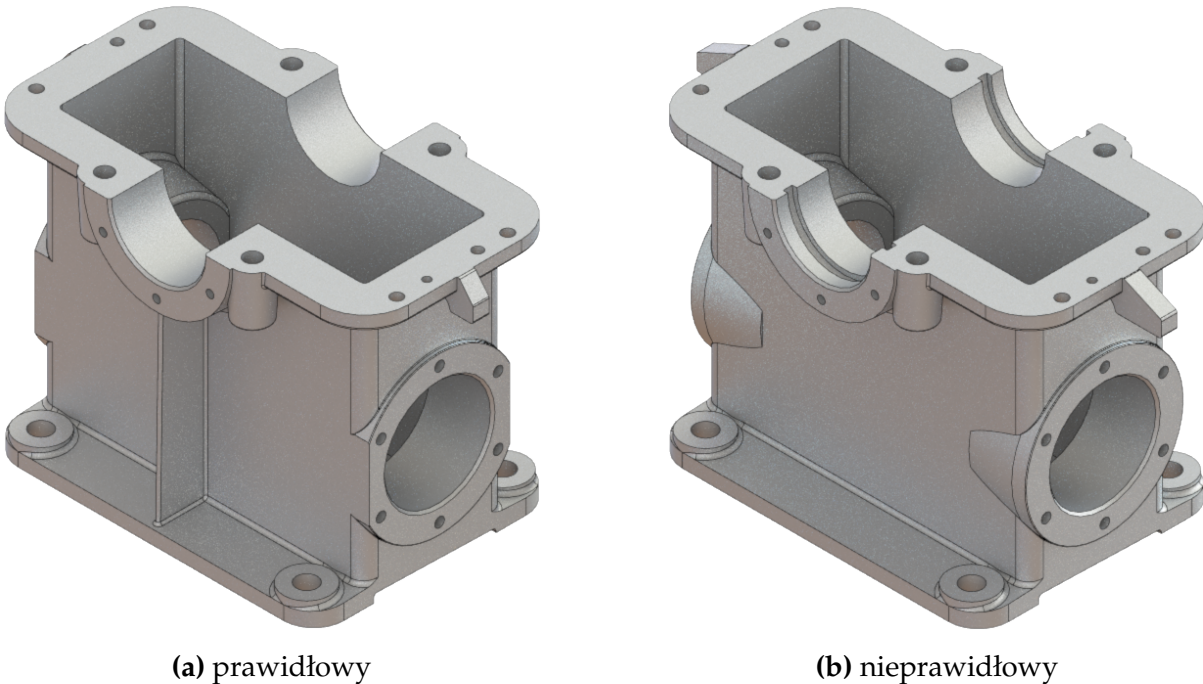
# Metoda identyfikacji antywzorców

Każdy z projektantów części mechanicznych, już w pierwszych chwilach wizualnej analizy projektu części mechanicznej, jest w stanie zauważyć niektóre z obecnych w nim błędów konstrukcyjnych. W sposób oczywisty zakres identyfikowanych błędów zwiększa się z ilością czasu poświęconego analizie. Ocenę poprawności konstrukcji przedstawionej na rysunku technicznym, rozpoczyna ogólny przegląd cech konstrukcji i wychwycenie błędnych fragmentów, części mechanizmu. Porównując dwa korpusy przekładni ślimakowych (rys. 4.1), natychmiast można zauważyć istotne różnice konstrukcyjne (np. brak ożebrowania). Proces ten wykonywany w sposób naturalny przez ludzi, jest bardzo utrudniony w przypadku komputerowych obliczeń (ze względu na brak wiedzy i kontekstu). Na potrzeby badań, stworzona została referencyjna baza antywzorców (rozd. 4.2), reprezentowanych za pomocą tradycyjnego (rysunek techniczny) i nowego (opracowanego w ramach opisywanych badań) symbolicznego zapisu cech konstrukcji w formie syntetycznej - bez nadanej notacji formatującej.

Aby odnaleźć nieprawidłowość kauzalizmu w konstrukcji mechanicznej, należy zdefiniować oczekiwania w stosunku do funkcji realizowanej przez konkretną część maszyny. Rozpatrując różnice pomiędzy konstrukcją prawidłową a błędną można zauważyć, że mechanizmy poprawne (w odróżnieniu od błędnych) będą spełniać postawione im wymagania - minimalną wartość przypisaną do funkcji celu.

Badaniom poddany został zbiór błędów konstrukcyjnych o różnym charakterze nieprawidłowości i stopniu złożoności. Pomimo tego, że prace prowadzone są na podstawie antywzorcowych cech korpusów przekładni ślimakowych, błędne rozwiązania (np. błędy spaw, nieprawidłowa kolineacja, brak ożebrowania) występują w wielu różnych konstrukcjach mechanicznych.

Pomijając analizę czynników zewnętrznych (również wpływających na funkcję realizowaną przez projekt konstrukcji), kluczowymi czynnikami pozwalającymi na odnalezienie błędu i zidentyfikowanie antywzorca w części mechanicznej są:



**Rysunek 4.1:** Wizualizacja 3D badanych korpusów: wzorca i antywzorca

- funkcja konstrukcyjna, która nie jest realizowana przez żaden z obiektów elementarnych lub jest jedynie w części spełniona (np. niedostateczna sztywność);
- funkcja konstrukcyjna, której realizacja ma destruktywny wpływ na inną lub nadrzędną funkcję (np. błędne pochylenie odlewnicze);
- cecha konstrukcyjna, która mimo swojego istnienia (realizacji zadanej funkcji) nie integruje się odpowiednio z otoczeniem (np. niewłaściwy kształt);
- wartość miary lub cechy konstrukcyjnej, która nie jest właściwa w pełnym kontekście wiedzy o części mechanicznej (np. błędne narzędzie obróbki), jej sposobie produkcji lub czynnikach eksploatacyjnych (np. błędna tolerancja wymiarów).

Porównując wizualizację konstrukcji prawidłowej (rys. 4.1a) z nieprawidłową (4.1b) dostrzec można szereg różnic, pozwalających na identyfikację błędnych rozwiązań konstrukcyjnych. Jest to jednak jedynie część antywzorców, ponieważ format opisu i prezentacji projektu konstrukcji, nie zawiera wszystkich informacji, cech konstrukcyjnych, które należy poddać analizie aby efektywnie ocenić jej właściwości i jakość z jaką funkcjonuje w trakcie eksploatacji.

Wystarczający zakres danych konstrukcyjnych dostępny jest w formacie rysunku technicznego (równoważnie w przypadku zapisu papierowego i komputerowego), dlatego został on przyjęty jako wejściowy format do analizy i opisu antywzorców.



Ze względu na brak możliwości opisu kauzalizmu antywzorców z użyciem jakiegokolwiek standardu, do rysunku przedstawiającego antywzorca dołączony został opis słowny, informujący konstruktora o przyczynie lub konsekwencjach błędu.

Badane antywzorze, zaobserwowane w konstrukcjach korpusów przekładni ślimakowych (rys. 4.1), zostały przedstawione w kilku formatach zapisu aby uwidocznić różnice w sposobie symbolicznej reprezentacji, a tym samym wskazać dodatkowe możliwości wynikające z proponowanej metody zapisu (rozdz. 5).

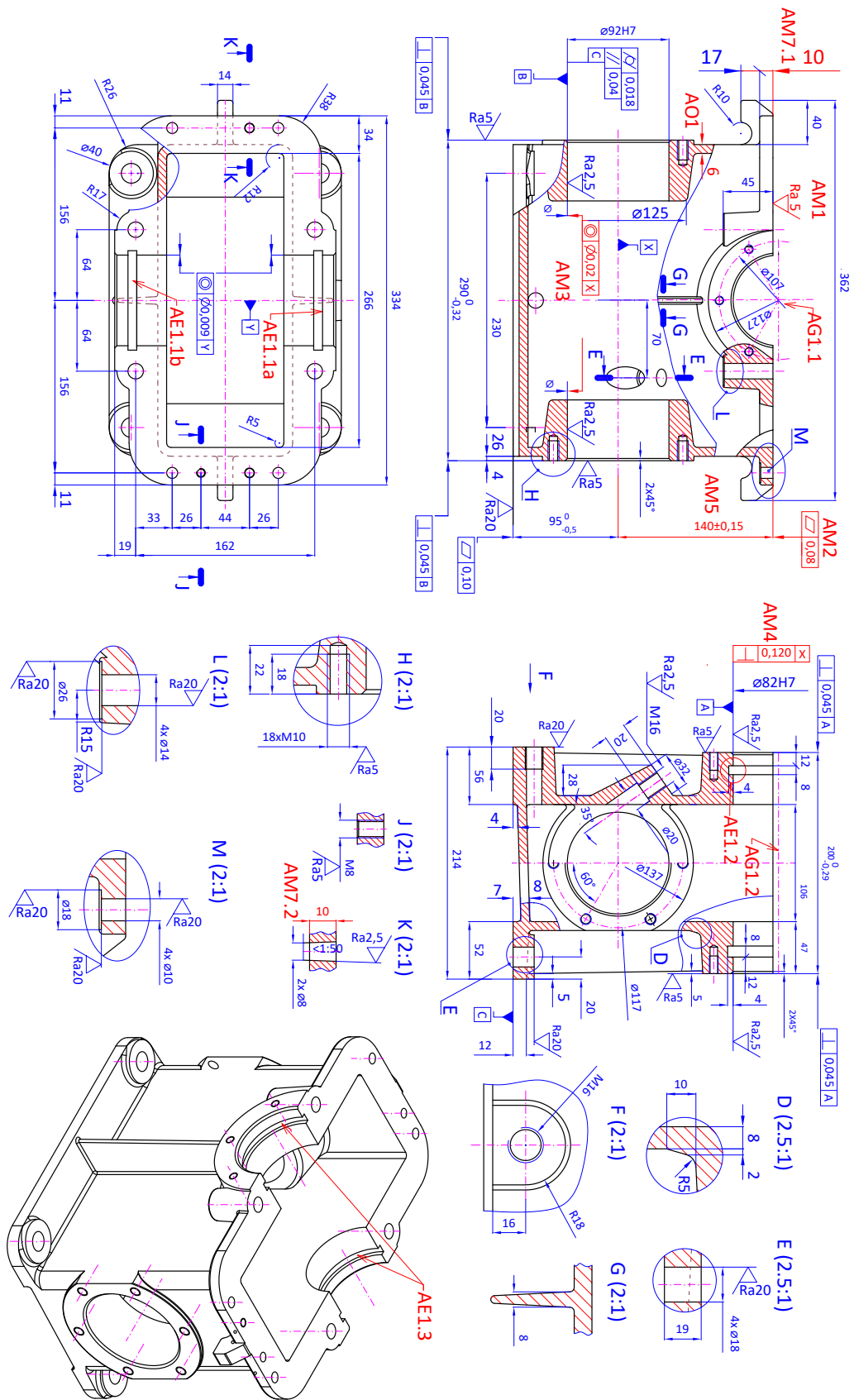
O ile możliwa jest identyfikacja antywzorców w rysunkach technicznych antywzorcowych konstrukcji (rys. 4.2, 4.3), to sposób opisu konkretnych antywzorców musi jak najbardziej uniezależnić je od kontekstu konkretnej konstrukcji. Kluczowym elementem jest uchwycenie sedna nieprawidłowości wpływającej negatywnie na realizację funkcji obiektu elementarnego, do którego przypisany jest antywzorec.

Elastyczność i syntetyczność obiektowych sposobów komputerowej reprezentacji konstrukcji wydaje się właściwszym sposobem przedstawienia uniwersalnie stosowalnych antywzorców. W przypadku komunikacji wiedzy konstruktorskiej pomiędzy ludźmi, elastyczność ta wynika z umiejętności konstruktora do ekstrapolacji wiedzy o negatywnych efektach konkretnych rozwiązań. Możliwość komputerowej ekstrapolacji wiedzy w taki sam sposób wydaje się ciągle nieosiągalna, dlatego należy każdorazowo odpowiednio zredukować opis antywzorca do jego abstrakcyjnej esencji - tak aby jako szablon mógł być stosowany w możliwie szerokim zakresie konstrukcji.

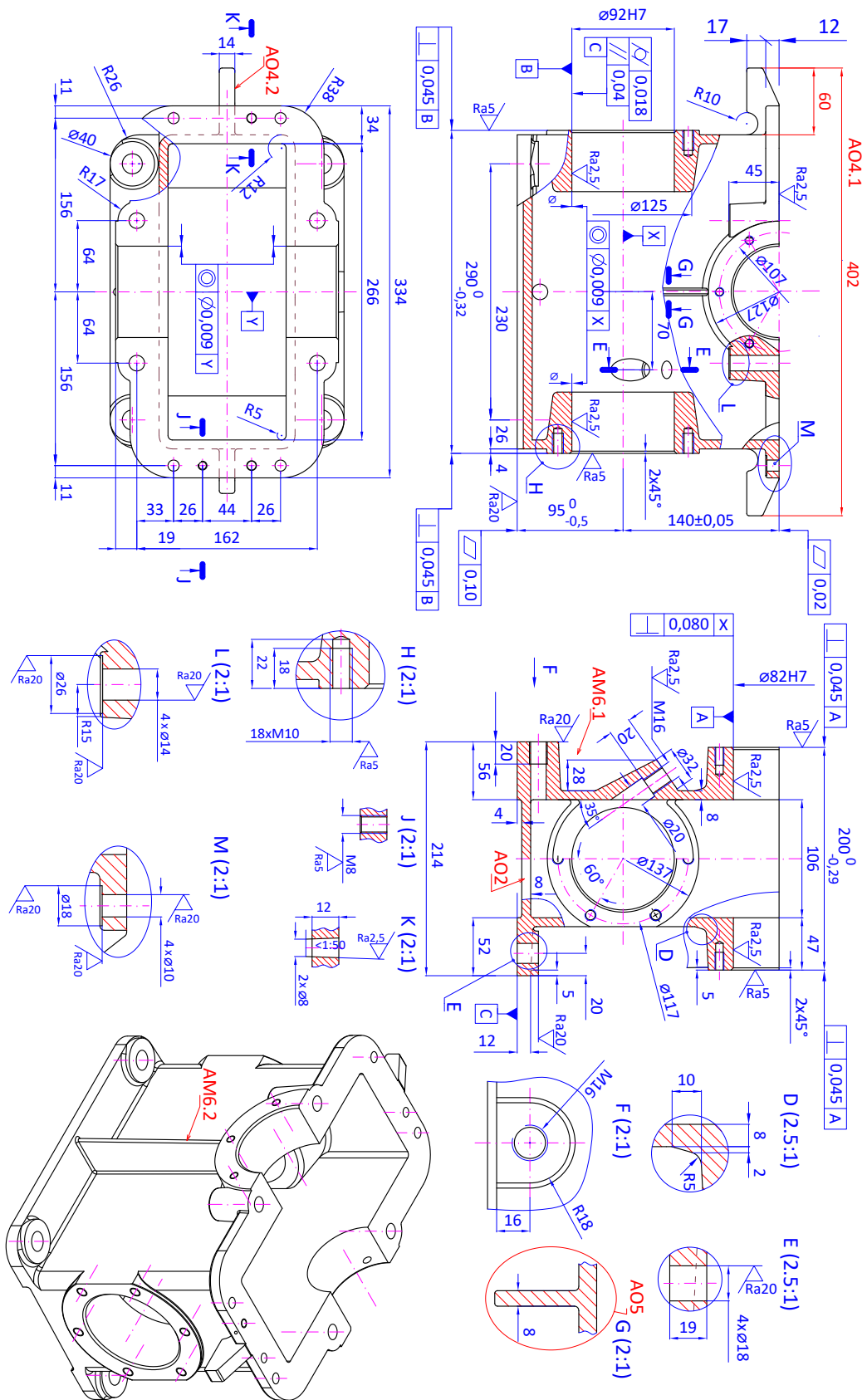
Stworzone rysunki techniczne antywzorcowych korpusów (rys. 4.2, 4.3) demonstrują złożenie opracowanych antywzorców. Nieprawidłowości te funkcjonują jednak niezależnie od siebie oraz mogą zostać skatalogowane w formie uproszczonych rysunków technicznych i częściowych zapisów symbolicznych (rozdz. 4.2).

Jako konkluzję dotychczasowych badań, użyta metoda identyfikacji antywzorców, składa się z trzech etapów:

- *zdefiniowania koncepcji nieprawidłowości* - realnej, możliwej do zaobserwowania w błędnych lub niekompletnych projektach korpusu przekładni ślimakowej, niezależnych od unikalnych cech korpusów, o zmiennym poziomie złożoności i pochodzeniu oraz bezpośrednio wynikających z wiedzy konstruktorskiej;
- *nadpsucia poprawnego korpusu* - umieszczając koncepcję błędu w opisie rysunkowym konkretnej części mechanicznej, modyfikując sposób realizacji zadanej korpusowi funkcji i obniżając efektywność konstrukcji;
- *symboliczny opis antywzorcowej cechy* - stworzenia zorientowanej obiektowo, reprezentacji fragmentu części mechanicznej zawierającej elementy wymagane do identyfikacji i wskazania konkretnego błędu konstrukcyjnego.



Rysunek 4.2: Antywzorzecowy korpus nr 1



Rysunek 4.3: Antywzorcowy korpus nr 2

## 4.1 Klasyfikacja i zarządzanie bazą antywzorców

Projekt korpusu mechanicznego, ze względu na złożoność konstrukcji i realizowanych przez jego części składowe funkcji, zawiera znaczną ilość rozwiązań konstrukcyjnych, z których część może być nieprawidłowa. Ze względu na skupienie analizy na realizowanej przez daną część funkcji, wydaje się zasadnym aby klasyfikacja antywzorców została wykonana w sposób identyczny do modelu przyjętego dla dekompozycji struktury konstrukcji. Wykorzystany sposób grupowania błędnych rozwiązań, ma na celu ułatwienie porównania elementarnych obiektów konstrukcji o odmiennych efektach jakościowych. Oczywiście są zalety wynikające z porównania różnic i podobieństw występujących w rozwiązaniach tej samej klasy.

Aby efektywnie zarządzać opracowanymi antywzorcami, należy również zdefiniować uniwersalny model identyfikacji miar, wartości i symboli fizycznych oraz konstrukcyjnych. O ile należy spodziewać się znacznego wzrostu liczby antywzorcowych rozwiązań i możliwych cech użytych do ich opisu, to w przypadku podstawowych cech elementarnych obiektów konstrukcji, ich ilość powinna być kontrolowana pod kątem utrzymania wzajemnej spójności. Dodatkowymi elementami, nie będącymi logiczną częścią bazy antywzorców, a raczej czynnikami umożliwiającymi jej stworzenie i efektywne wykorzystanie są:

- *Model klasyfikacji rozwiązań konstrukcyjnych* - pozwalający na przyjęcie wspólnej metody wyboru rozwiązań do wzajemnego porównania. Należy oprzeć go klasyfikację językową, wynikającą z realizowanej przez nie funkcji.
- *Model klasyfikacji cech konstrukcyjnych* - pozwalający na przyjęcie wspólnej metody opisu cech porównywanych rozwiązań, tak aby ujednoczyć jednostki miar i ich wzajemne zależności. Spójność tego modelu pozwala na zachowanie spójności danych pomiędzy przechowywanymi antywzorcami.
- *Symboliczny język opisu rozwiązań i cech konstrukcyjnych* - pozwalający na uniwersalną reprezentację danych reprezentujących antywzorcowe i prawidłowe konstrukcje; w szczególności informacje strukturalne, które często zawierają informacje o nietrywialnych błędach.

### 4.1.1 Metoda tworzenia antywzorców

Próba utworzenia, wyznaczenia sztywnej granicy pomiędzy rozwiązaniami poprawnymi a niepoprawnymi wydaje się niewłaściwa. Wynika to z charakteru niektórych obliczeń - w szczególności sieci neuronowych, gdzie bez dodatkowych rozwiązań wykrywane byłoby podobieństwo do tej granicy. Popularne rozróżnienie skierowania,

znaku odległości algebraicznej znajduje swoje zastosowanie w prostych modelach matematycznych. W przypadku rozpoznawania wzorców w danych - znacznie negatywna różnica od granicznego wzorca, będzie równie różna od wzorca co znacznie pozytywna. Aby zniwelować ten problem, tworząc antywzorce należy jednoznacznie zdefiniować „kierunek nieprawidłowości”, rozpoczynając od wartości subiektywnie uznanej za granicę błędu. Informacja ta pozwala na automatyczne generowanie zbiorów danych o zmiennych cechach, jednak zawierających tą samą antywzorcową cechę konstrukcji. Możliwość ekstrapolacji danych symbolicznie reprezentujących antywzorce jest kluczowym elementem, pozwalającym na praktyczne zastosowanie sieci neuronowych do automatycznego wykrywania nieprawidłowości o konkretnym, błędnym charakterze (zdefiniowanym w antywzorcu).

Kluczowymi czynnikami definiującymi prawidłowo opisany antywzorzec, jest jakość przeprowadzonej syntezy błędu, jego powtarzalność i stosowalność w różnorodnych konstrukcjach. W trakcie analizy opracowanych antywzorców, zauważono braki formatów rysunkowych, które często nie pozwalają na pełny opis i jawną reprezentację jedynie antywzorcowych cech. Antywzorcowe cechy, często muszą być wskazane w sposób dodatkowy, co jest niespotykane w opisach projektów konstrukcji mechanicznych. Kolejnym ograniczeniem rysunku technicznego (jako wyłącznej reprezentacji antywzorców) jest brak możliwości uwzględnienia w nim czynników zewnętrznych, również wpływających na efektywność części mechanicznej oraz ogólnie postrzeganą jakość projektu (np. obniżoną przez zastosowanie wycofanych części).

Powtarzające się wzorce w danych reprezentujących konkretne rozwiązania konstrukcyjne, pozwalają na utworzenie pierwszego zbioru antywzorcowych rozwiązań konstrukcyjnych (rozdz. 4.2) zaobserwowanych w korpusie przekładni ślimakowej.

#### 4.1.2 Redukcja złożoności opisu antywzorca

Technikę użytą przy selekcji elementów opisu (wymaganych do reprezentacji błędu konstrukcyjnego) można przyrównać do syntezy opisu słownego nieprawidłowości. Podobieństwo to ogranicza się do wyboru kluczowych wartości cech konstrukcyjnych tworzących antywzorzec i wynika z jednoczesnego użycia symboli reprezentujących te same obiekty elementarne, wartości i cechy konstrukcyjne.

Aby uzyskać możliwość wykrywania antywzorców w różnorodnych konstrukcjach, ich symboliczna reprezentacja (uzależniona od przyjętego formatu zapisu: słownego, rysunkowego, obiektowego) musi być ograniczona do kluczowych elementów, jednoznacznie definiujących błąd w części maszyny. Syntetyczny opis antywzorców pozwala również na wprowadzenie usprawnień obliczeniowych, poprzez redukcję ilości i zakresu porównywanych informacji. Istotnym czynnikiem zaobserwowanym w pro-

wadzonych badaniach jest możliwość specjalnego traktowania (interpretacji) obecności pewnych informacji w opisie (np. definicji użytych cech). Pozwala to na tworzenie tymczasowych widoków i przekrojów danych, które podobnie jak w przypadku rysunku technicznego uwypuklają kluczowe cechy konstrukcji. Minimalizacja złożoności opisów antywzorcowych konstrukcji, ma za zadanie umożliwić automatyzację tworzenia możliwie precyzyjnych rozwiązań algorytmicznych, pogłębiających możliwości interpretacji opisów części mechanicznych o zmiennym stopniu złożoności.

## 4.2 Opracowane antywzorze

Zdefiniowane antywzorze w sposób oczywisty nie wyczerpują listy możliwych błędów w korpusach przekładni ślimakowych. Zostały opracowane aby zbadać możliwość wykrywania znanych błędów w opisach konstrukcji i aby zadbać o odpowiedni zakres złożoności i różnorodności referencyjnych antywzorców. Badane antywzorze posiadają zmienną przyczynę i charakter nieprawidłowości (np. odchylenie wartości lub błędna konstrukcja) oraz reprezentują odmienne koncepcje nieprawidłowości (np. brak obiektu lub błędna cecha).

Wskazany w tabeli 4.1 *rodzaj* nieprawidłowości w danych, reprezentuje typ wzorca danych w kontekście jego *charakteru*. Stworzone antywzorze, zostały również wybrane spośród wszystkich trzech typów zidentyfikowanych, podstawowych typów relacji zachodzących pomiędzy elementarnymi obiektami konstrukcji (rozdz. 3.5).

Stworzone na potrzeby badań antywzorze wywodzą się z szeregu obszarów wiedzy (m.in. mechanika, odlewnictwo, spawalnictwo). Są one syntetycznymi błędami, a tym samym nie jest zasadne badanie ich pochodzenia lub przyczyny wystąpienia w konkretnym opisie konstrukcji. Mimo tego, wskazane zostały możliwe źródła pochodzenia błędu pozwalające na ogólną ocenę istotności błędu i wskazanie problemów, których może być symptomem. Stworzone antywzorze zostały zdefiniowane w oparciu o następujące rodzaje błędów:

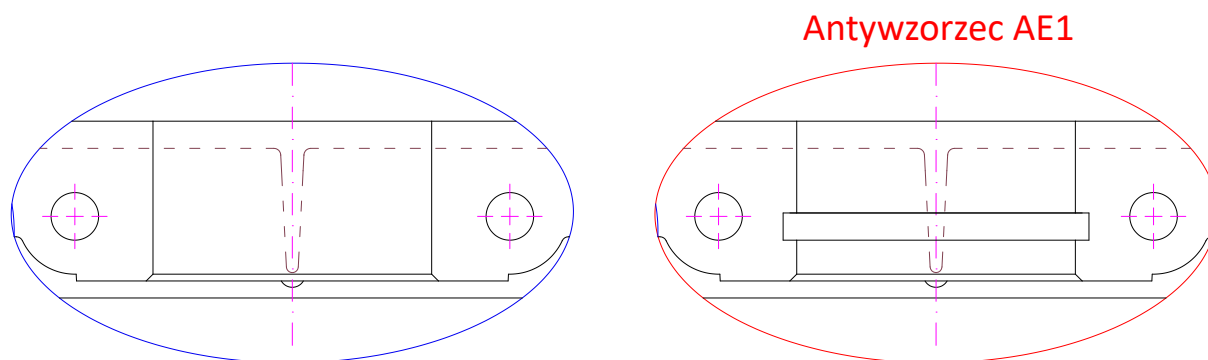
- *Błędna wartość cechy konstrukcyjnej* - niedostosowana do warunków stawianych obiektowi elementarnemu mającemu spełniać zadaną funkcję.
- *Błędna relacja wartości* - redukująca skuteczność funkcji realizowanej przez konstrukcję poprzez niedopasowanie zależnych od siebie części składowych, lub efektów realizowanych przez obiekty elementarne funkcji.
- *Błędna lokalizacja struktury* - powodująca niedostateczne spełnienie zadanej obiektowi funkcji, wprowadzająca błędne cechy pochodne, ograniczająca lub blokująca wykonanie elementu.

- *Błędna konstrukcja struktury* - brak wymaganych rozwiązań konstrukcyjnych spełniających funkcję składową konstrukcji, użycie niewłaściwych elementów konstrukcyjnych, ich nieprawidłowe ustalenie, lub niedostosowanie struktury do wymagań stawianych konstrukcji nadrzędnej.

W sposób oczywisty, możliwe jest stworzenie antywzorców reprezentujących inne obszary wiedzy, zależności pomiędzy cechami, a także wywodzących się z innych przyczyn np. niewłaściwe dobranie materiałów, parametrów obróbki. W szczególności, reprezentacja błędów oraz wymagań wywodzących swoje nieprawidłowości z przyczyn zewnętrznych dla projektu konstrukcji, pozwala na znaczne poszerzenie zakresu błędów wykrywanych przez opracowaną metodę. Obfitość możliwych do zaobserwowania błędów w konstrukcjach mechanicznych, wskazuje na istnienie znacznej ilości wiedzy dostępnej dotychczas jedynie w analizie jednorazowej, manualnej, wykonywanej przez ludzi.

<i>Nazwa</i>	<i>Antywzorzec</i>	<i>Obszar</i>	<i>Rodzaj</i>	<i>Charakter</i>	<i>Typ relacji</i>
AE1	rys. 4.4	ergonomia	konstrukcja	struktura	3
AG1	rys. 4.5	geometria	odchylenie	wartość	2
AM1	rys. 4.6	mechanika	odchylenie	wartość	1
AM2	rys. 4.7	mechanika	odchylenie	wartość	1
AM3	rys. 4.8	mechanika	odchylenie	wartość	2
AM4	rys. 4.9	mechanika	odchylenie	wartość	3
AM5	rys. 4.10	mechanika	odchylenie	wartość	3
AM6	rys. 4.11	mechanika	konstrukcja	struktura	2
AM7	rys. 4.12	mechanika	odchylenie	struktura	3
AO1	rys. 4.13	odlewnictwo	odchylenie	wartość	1
AO2	rys. 4.14	odlewnictwo	relacja	wartość	2
AO3	rys. 4.15	odlewnictwo	relacja	wartość	2
AO4	rys. 4.16	odlewnictwo	relacja	wartość	3
AO5	rys. 4.17	odlewnictwo	odchylenie	struktura	1
AS1	rys. 4.18	spawalnictwo	odchylenie	struktura	1
AS2	rys. 4.19	spawalnictwo	konstrukcja	struktura	3
AS3	rys. 4.20	spawalnictwo	konstrukcja	struktura	2

**Tabela 4.1:** Kluczowe cechy referencyjnych antywzorców



Rysunek 4.4: AE1.1 - półotwór w ścianie bocznej korpusu pod pokrywą

### 4.2.1 AE1 - elementy w otworze pod pokrywą

W ramach opisu antywzorcowego korpusu przekładni (rys. 4.2), odnaleźć można kilka miejsc w których widoczna jest ta cecha projektu i pozwalają one tym samym na identyfikację tego antywzorca: AE1.1 - lustrzane odbicia *a* i *b* (rys. 4.4), AE1.2 - gdzie oznaczona jest głębokość wytoczenia w otworze, AE1.3 - wskazujący kształt antywzorcowej cechy otworu. Istnienie takiego rozwiązania w projekcie korpusu tworzy potrzebę regulacji jego zazębienia z pokrywą.

Zidentyfikowany błąd (rys. 4.4) jest antywzorcem typu 3, w którym antyworzec nie wpływa bezpośrednio na żaden z elementów projektu, i może być zidentyfikowany dopiero po uwzględnieniu zewnętrznych czynników i obiektów elementarnych wchodzących w skład kompletnej konstrukcji w trakcie jej eksploatacji.

Wiedza zawarta w tym antywzorcu, wynika z doświadczenia projektanta w obszarze ergonomii eksploatacji korpusów przekładni ślimakowych. Zastosowanie tego, antywzorcowego rozwiązania znacznie zwiększa wymagania konstrukcyjne definiujące regulację powstałego zazębienia elementów, nie dostarczając dodatkowych zysków z punktu widzenia funkcji realizowanej przez korpus.

Antyworzec ten spowodowany jest wprowadzeniem dodatkowych, nadmiarowych elementów konstrukcji. Dodatkowe zazębienie łożysk w otworze ślimaka w pewnym stopniu zwiększa jakość połączenia (jego sztywność), jednak po uwzględnieniu szerszego kontekstu dominujące stają się negatywne konsekwencje wynikające z trudności w dopasowaniu elementarnych obiektów korpusu (otworów bocznych, łożysk, pokrywy i obudowy korpusu).

Błędy tego typu, można zaobserwować w wyniku występowania następujących czynników:

- EAS - uporczywe stosowanie wybranych rozwiązań prawidłowych jedynie w niektórych kontekstach;

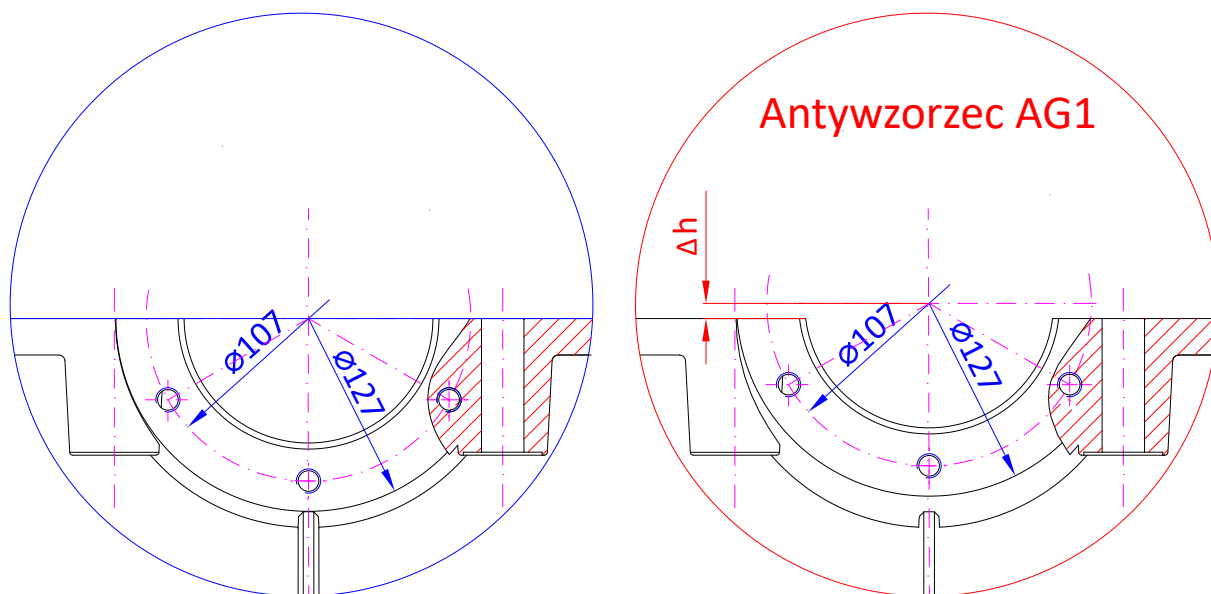


- *EAF* - wprowadzenie nadmiernej funkcjonalności;
- *ECF* - niewłaściwe złożenie funkcjonalnych elementów konstrukcji;
- *EDG* - dominacja graficznych zadań nad koncepcyjną analizą opisu, cech konstrukcyjnych, struktury konstrukcji;
- *EED* - brak oceny zachowania konstrukcji w warunkach operacyjnych.
- *ENE* - wprowadzanie niestosowanych elementów, wskazująca na nadmierność lub braki obiektów;
- *ELV* - brak weryfikacji projektu (np. komponentów, wielokryteriowej), brak oceny jakości konstrukcji;
- *ESE* - odłożona ocena rozwiązania i nadmierne zaufanie odnośnie wynikowej łatwości w eksploatacji;

Symboliczna reprezentacja tego antywzorca powinna wskazywać na istnienie dodatkowych, nadmiarowych obiektów elementarnych w ramach otworu bocznego występującego w formie wymagającej korelacji z pokrywą. Ze względu na strukturalny charakter tego antywzorca, jego symboliczna reprezentacja nie zawiera żadnych wartości i oparta jest o dwa elementy: potrzebę stworzenia minimalnej reprezentacji złożenia kluczowych elementów konstrukcji (obudowy i opraw łożysk) oraz odróżnienie opraw łożysk wymagających spasowania (z pokrywą) od łożysk ślimacznicy.

```
1  klasa: korpus przekładni ślimakowej,  
2  węzły: {  
3    ob1: {  
4      klasa: obudowa korpusu przekładni ślimakowej,  
5      węzły: {  
6        op1: {  
7          klasa: oprawa łożysk ślimaka,  
8          węzły: {  
9            w1: {  
10             klasa: wcięcie  
11           }  
12          }  
13        }  
14      }  
15    }  
16  }
```

**Listing 4.1:** Symboliczny opis antywzorca AE1



Rysunek 4.5: AG1.1 - cechy powierzchni płaszczyzny łączenia korpusu z pokrywą

#### 4.2.2 AG1 - łączenie korpusu z pokrywą

W ramach opisu antywzorcowego korpusu przekładni (rys. 4.2), znajdują się dwie części rysunkowego, symbolicznego opisu konstrukcji, pozwalające na identyfikację tego antywzorca: AG1.1, AG1.2. Druga z nich, przedstawia bezpośrednio esencję nieprawidłowości tego antywzorca (rys. 4.5) - przesunięcie pomiędzy osią ślimacznic a powierzchnią łączenia korpusu z pokrywą. Pomimo swej dosłowności, sposób opisu tej cechy (AG1.2) nie zawiera wystarczającej ilości informacji i wymaga interpretacji w szerszym kontekście (np. AG1.1) aby błąd ten mógł być w pełni zidentyfikowany.

Pierwsza część opisu antywzorca (AG1.1) występuje w kontekście opisującym strukturę konstrukcji o przesuniętej osi odniesienia. W tym miejscu uwidacznia się sedno tego antywzorca zarówno w ramach opisu obiektu elementarnego (w sposób istotny nie wypełniającego połowy okręgu), jak i w odległości pomiędzy płaszczyzną osi a korpusu. Antywzorzec AG1 (rys. 4.5), oparty jest o przesunięcie  $\Delta h$  występujące pomiędzy osią ślimacznic a powierzchnią korpusu. Nadmierna wartość  $\Delta h$  (w odniesieniu do parametrów pokrywy) ogranicza regulację rozstawu osi ślimaka i ślimacznic oraz zazębienia reduktora ślimakowego.

Błąd konstrukcyjny, o który oparty jest ten antywzorzec wynika z błędnego użycia technik i narzędzi do geometrycznego, wektorowego opisu konstrukcji. Błędy tego typu nie są zazwyczaj rezultatem celowych działań projektanta, a raczej wynikiem niedokładności w przeprowadzanych pracach projektowych. Potencjalne przyczyny występowania antywzorca AG1 to:

- ECF - niewłaściwe złożenie funkcjonalnych elementów konstrukcji;

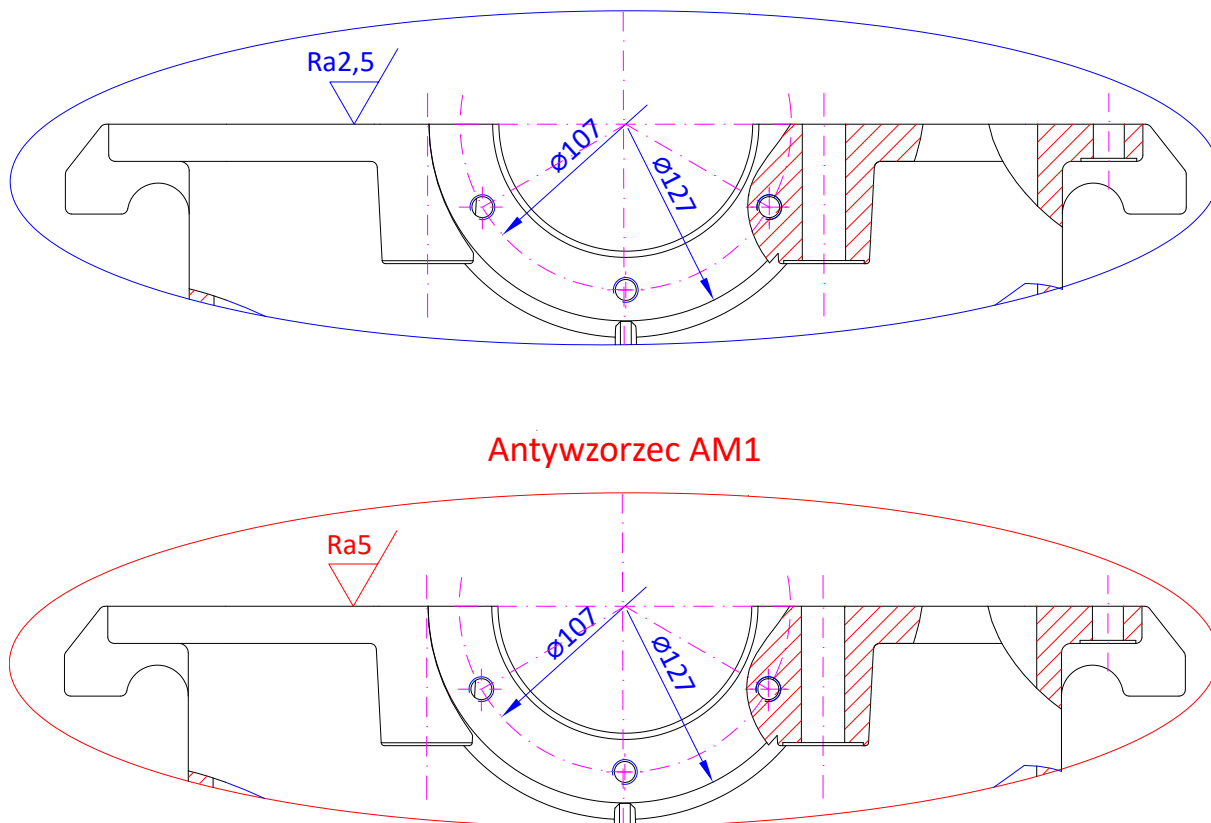
- *EDG* - dominacja graficznych zadań nad koncepcyjną analizą opisu, cech konstrukcyjnych, struktury konstrukcji;
- *EDR* - pośpiech w przygotowaniu projektu;
- *EDV* - zaniedbanie, świadomość późniejszej weryfikacji, niejasna struktura odpowiedzialności;
- *EED* - brak oceny zachowania konstrukcji w warunkach operacyjnych.
- *ELV* - brak weryfikacji projektu (np. komponentów, wielokryteriowej), brak oceny jakości konstrukcji;

Symboliczna reprezentacja tego antywzorca, powinna ograniczać się jedynie do wskazania wielkości geometrycznego odchylenia osi ślimacznicy od powierzchni korpusu. Wielkość ta może być niezależnie zidentyfikowana za pomocą dwóch, odmiennych wartości geometrycznych: odległości lokalizacji osi wzdłużnej ślimacznicy od powierzchni korpusu zawierającej osadzenia łożysk ślimacznicy (typ 2 relacji) -  $\Delta h$  na rys. 4.5, lub kąt wypełnienia okręgu przez osadzenia łożysk.

W zaobserwowanej praktyce opisu konstrukcji za pomocą rysunku technicznego, wielkość kwantyfikująca ten antywzorzec ( $\Delta h$ ) nie jest w sposób jawny oznaczana w projektach. Identyfikacja tego typu antywzorca może wydawać się więc znacznie utrudniona dla komputerów, ze względu na potrzebę posiadania dodatkowej wiedzy konstruktorskiej nadającej kontekst „kresce przedstawiającej oś” i pozwalającej na ocenę jej niejawnej odległości od wybranej powierzchni obudowy korpusu.

```
1  klasa: korpus przekładni ślimakowej,  
2  cechy: {  
3    wysokość: { klasa: wartość, jednostka: centymetr },  
4    szerokość: { klasa: wartość, jednostka: centymetr },  
5    lokalizacja: { klasa: wektor, jednostka: centymetr }  
6  },  
7  węzły: {  
8    ob1: {  
9      klasa: obudowa korpusu przekładni ślimakowej,  
10     cechy: { szerokość: 10, wysokość: 10 },  
11     węzły: {  
12       op1: {  
13         klasa: oprawa łożysk ślimacznicy,  
14         cechy: { lokalizacja: [5, 11] }  
15       } } } }  
}
```

**Listing 4.2:** Symboliczny opis antywzorca AG1



Rysunek 4.6: AM1 - cechy powierzchni płaszczyzny łączenia korpusu z pokrywą

### 4.2.3 AM1 - cechy obróbki powierzchni

Na rysunku technicznym korpusu przekładni ślimakowej (rys. 4.2) antyworzec ten jest widoczny tylko w jednym miejscu. Błąd ten (rys. 4.6) reprezentuje pierwszy typ relacji, gdzie czynnik nieprawidłowości wynika z bezpośrednich cech występujących w ramach jednego obiektu elementarnego. Nieprawidłowość ujęta w tym antywzorcu wynika z przyjęcia nieodpowiednio dobranej precyzji wykończenia obróbkowego powierzchni styku dwóch elementów konstrukcji. Zdefiniowana w antywzorcu wartość chropowatości powierzchni łączenia korpusu z pokrywą ( $Ra = 5\mu m$ ) przekracza przyjętą, maksymalną wartość dla tego typu elementów ( $Ra = 2,5\mu m$ ).

Zdefiniowana przez projektanta, niewłaściwa chropowatość wybranej powierzchni, wpływa niekorzystnie na sztywność stykową połączenia korpusu z jego pokrywą, powodując odkształcenia stykowe normalne na powierzchni ściskanych elementów.

Możliwe przyczyny występowania tego antywzorca wynikają głównie z czynników typowych dla tzw. „błędu ludzkiego”, w szczególności:

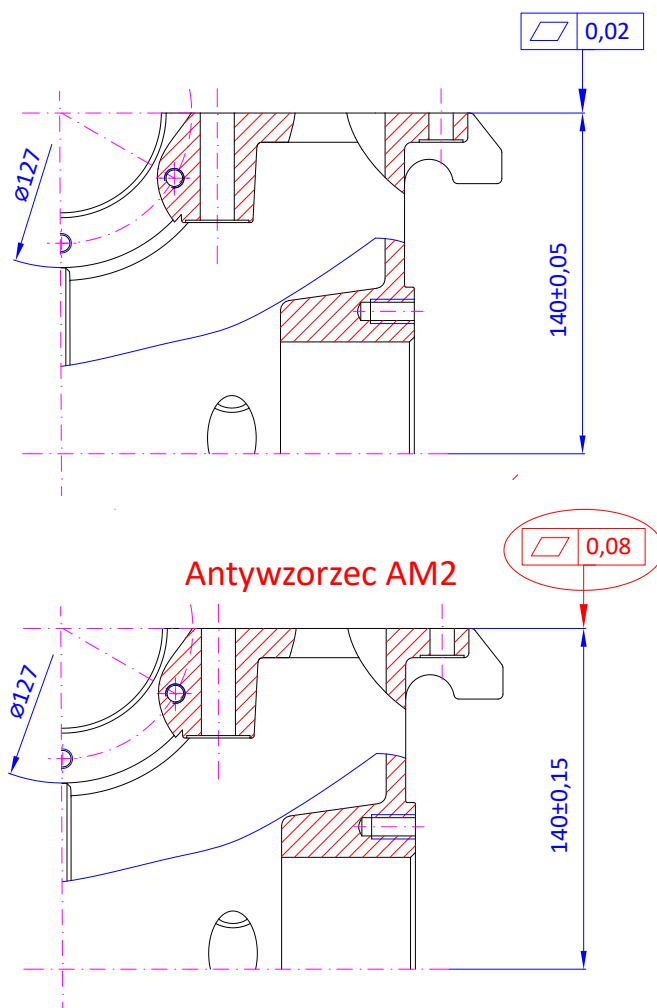
- ECF - niewłaściwe złożenie funkcjonalnych elementów konstrukcji;
- EDR - pośpiech w przygotowaniu projektu;

- *EED* - brak oceny zachowania konstrukcji w warunkach operacyjnych.
- *ELV* - brak weryfikacji projektu (np. komponentów, wielokryteriowej), brak oceny jakości konstrukcji;

Symboliczna reprezentacja tego antywzorca ogranicza się do identyfikacji elementu konstrukcji (z antywzorcową wartością) oraz zdefiniowania cechy konstrukcyjnej *Ra* nadającej konstrukcyjny kontekst wskazanej w antywzorcu wartości liczbowej. Próbując odnieść się wyłącznie do sedna nieprawidłowości, antywzorzec ten można w sposób słowny opisać jako: antywzorcową wartość powierzchni kołnierza pod pokrywą obudowy korpusu przekładni ślimakowej. Po dokonaniu dekompozycji leksykalnej, przykład antywzorca tego typu, można przedstawić również w formie symbolicznej:

```
1  klasa: korpus przekładni ślimakowej,  
2  cechy: {  
3    chropowatość: { klasa: Ra, jednostka: μm }  
4  },  
5  węzły: {  
6    ob1: {  
7      klasa: obudowa korpusu przekładni ślimakowej,  
8      węzły: {  
9        ko1: {  
10       klasa: kołnierz pod pokrywą,  
11       węzły: {  
12         p1: {  
13           klasa: powierzchnia,  
14           cechy: {  
15             chropowatość: 5  
16           }  
17         }  
18       }  
19     }  
20   }  
21 }  
22 }
```

**Listing 4.3:** Symboliczny opis antywzorca AM1



Rysunek 4.7: AM2 - tolerancja płaskości płaszczyzny

#### 4.2.4 AM2 - tolerancja płaskości

Tolerancja płaskości (wartość określająca dopuszczalne odchylenie płaszczyzny powierzchni od płaszczyzny przylegającej, projektowej) jest jednym z istotnych czynników wpływających na efektywność konstrukcji mechanicznych. Na antywzorcowym korpusie (rys. 4.2) odnaleźć można jedno miejsce z tą nieprawidłową cechą.

Podobnie do antywzorca AM1, antyworzec ten (rys. 4.7) powoduje spadek efektywności łączenia pokrywy z korpusem, wynikający z niewłaściwie zdefiniowanych, dopuszczalnych różnic kształtu płaszczyzn łączących obiekty konstrukcyjne. Zdefiniowana w antywzorcu wartość tolerancji płaskości (0,08) jest czterokrotnie większa od wartości dopuszczalnej dla tego typu konstrukcji (0,02). Konsekwencją istnienia antywzorca w trakcie eksploatacji maszyny jest zmniejszona sztywność stykowa powierzchni łączącej korpus z pokrywą, co z czasem tworzy odkształcenia stykowe normalne, pogłębiając i utrwalając uszkodzenie mechanizmu.

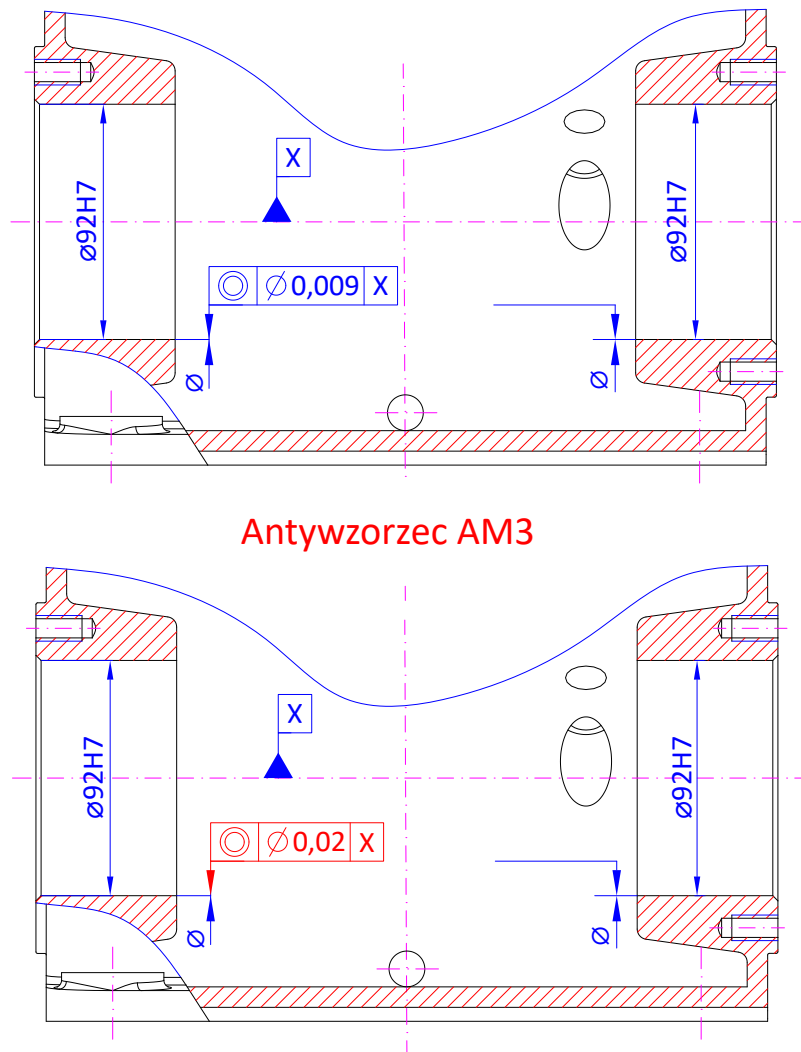
Możliwe przyczyny występowania tego antywzorca wynikają głównie z czynników typowych dla tzw. „błędu ludzkiego”, w szczególności:

- *ECF* - niewłaściwe złożenie funkcjonalnych elementów konstrukcji;
- *EDR* - pośpiech w przygotowaniu projektu;
- *EED* - brak oceny zachowania konstrukcji w warunkach operacyjnych.
- *ELV* - brak weryfikacji projektu (np. komponentów, wielokryteriowej), brak oceny jakości konstrukcji;

Symboliczna reprezentacja tego antywzorca wskazuje element konstrukcji zawierający antywzorcową wartość oraz definiuje cechę *tolerancja płaskości*, która nadaje kontekst interpretacyjny błędnej wartości liczbowej.

```
1  klasa: korpus przekładni ślimakowej,  
2  cechy: {  
3    tp: { klasa: tolerancja płaskości, jednostka: mm }  
4  },  
5  węzły: {  
6    ob1: {  
7      klasa: obudowa korpusu przekładni ślimakowej,  
8      węzły: {  
9        ko1: {  
10       klasa: kołnierz pod pokrywą,  
11       węzły: {  
12         p1: {  
13           klasa: powierzchnia,  
14           cechy: {  
15             tp: 0.08  
16           }  
17         }  
18       }  
19     }  
20   }  
21 }  
22 }
```

**Listing 4.4:** Symboliczny opis antywzorca AM2



Rysunek 4.8: AM3 - tolerancja współosiowości otworów pod węzły łożyskowe

#### 4.2.5 AM3 - tolerancja współosiowości

Kolejnym antywzorcem opartym o nieprawidłową wartość tolerancji kształtu obiektów elementarnych konstrukcji jest błędna tolerancja współosiowości miejsc osadzenia łożysk (rys. 4.8). Na pierwszym antywzorcowym korpusie (rys. 4.2) cecha ta została zdefiniowana w odniesieniu do dwóch, niezależnych elementów struktury i dlatego została sklasyfikowana jako reprezentująca drugi typ relacji.

W badanej konstrukcji, antywzorzec ten został zidentyfikowany w nieprawidłowej wartości tolerancji współosiowości dwóch miejsc osadzenia łożysk w których osadzona jest oś ślimaka. Konsekwencją braku korekcji błędów tego typu jest nadmierne bicie promieniowe ślimaka. W trakcie eksploatacji może to doprowadzić do zwiększenia tarcia, temperatury pracy oraz trwałego uszkodzenia ślimaka lub obudowy przekładni ślimakowej.



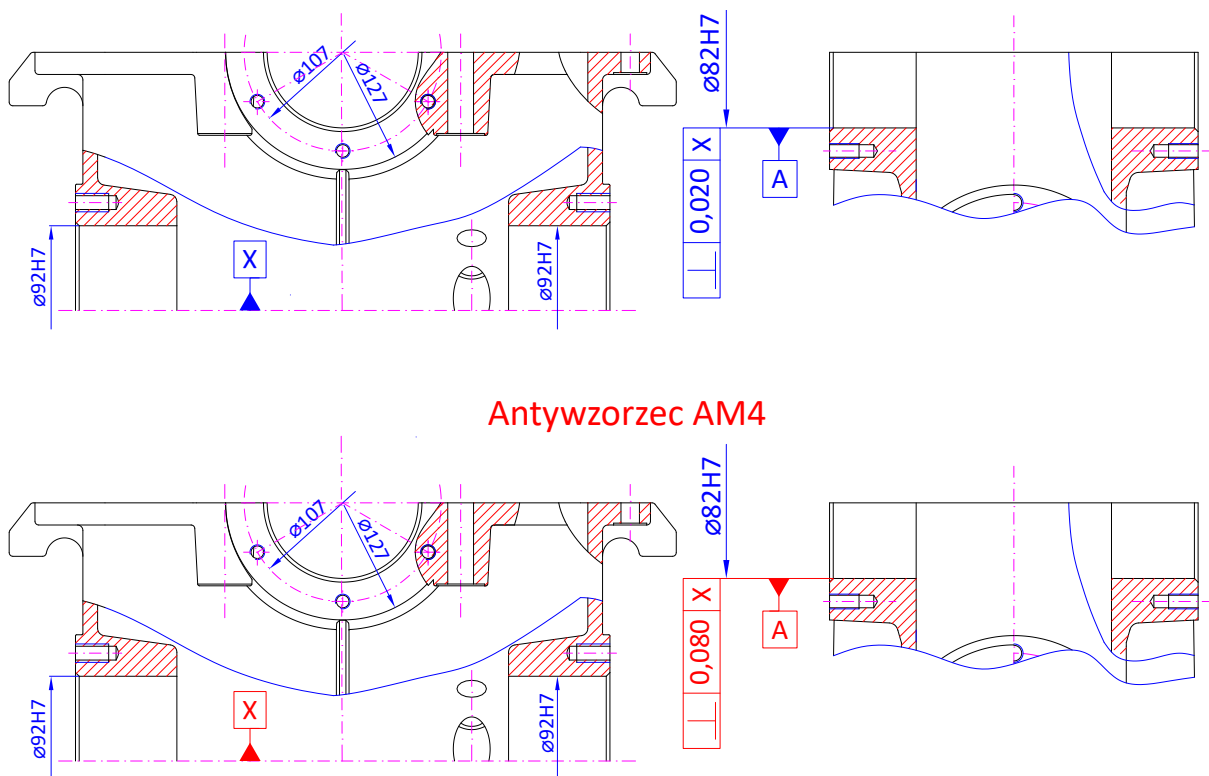
Podobnie jak w przypadku innych antywzorców reprezentowanych przez nieprawidłową wartość jednej z cech konstrukcji, przyczyny występowania tego antywzorca wynikają z następujących czynników:

- *ECF* - niewłaściwe złożenie funkcjonalnych elementów konstrukcji;
- *EDR* - pośpiech w przygotowaniu projektu;
- *EED* - brak oceny zachowania konstrukcji w warunkach operacyjnych.
- *ELV* - brak weryfikacji projektu (np. komponentów, wielokryteriowej), brak oceny jakości konstrukcji;

Do symbolicznej reprezentacji tego antywzorca, należy stworzyć opis definiujący kontekst i funkcję powierzchni stykowych z łożyskami definiującymi miejsce osadzenia ślimaka. Aby móc oddać skalę wartości, należy kontekst ten uzupełnić o średnicę i tolerancję wymiary oprawy łożysk.

```
1  klasa: korpus przekładni ślimakowej,  
2  cechy: {  
3    tw: { klasa: tolerancja wymiaru, jednostka: normatywna },  
4    two: { klasa: tolerancja współosiowości, jednostka: mm },  
5    średnica: { klasa: wartość, jednostka mm }  
6  },  
7  węzły: {  
8    ob1: {  
9      klasa: obudowa korpusu przekładni ślimakowej,  
10     węzły: {  
11       op2: {  
12         klasa: oprawa łożysk ślimaka,  
13         cechy: {  
14           tw: H7,  
15           two: 0.02,  
16           średnica: 92  
17         }  
18       }  
19     }  
20   }  
21 }
```

**Listing 4.5:** Symboliczny opis antywzorca AM3



Rysunek 4.9: AM4 - prostopadłość osi ślimaka i ślimacznicy

#### 4.2.6 AM4 - rozmieszczenie osi

Kolejnym ze zidentyfikowanych antywzorców jest błędna wartość cechy definiującej prostopadłość osi ślimaka i ślimacznicy (rys. 4.9). Na antywzorcowym korpusie (rys. 4.2) odnaleźć można opis tej cechy tylko w jednym miejscu, interpretowaną w kontekście wielu innych wartości cech konstrukcyjnych. Istota tego błędu zawiera kontekst informacyjny definiujący osie, pomiędzy którymi definiowana jest tolerancja prostopadłości, jednak to wartość tolerancji jest kluczowym czynnikiem nieprawidłowości. Ustalona w antywzorcowym projekcie tolerancja prostopadłości osi ślimaka i ślimacznicy ( $0.12\text{mm}$ ) jest czterokrotnie większa od wartości dopuszczalnej w tego typu konstrukcji.

Antywzorec ten wynika z obniżonej jakości realizacji funkcji złożenia ślimaka i ślimacznicy. Żaden z elementów, które definiują nieprawidłowość nie jest częścią badanego opisu. Informacja o potrzebie uniknięcia tego typu błędów jest wymaganiem konstrukcyjnym nałożonym na strukturę korpusu przekładni ślimakowych. Wymaganie to definiuje potrzebę zdefiniowania odpowiedniej precyzji (jakości) umiejscowienia dla łożysk w których osadzone mają być ślimak i ślimacznica.

Konsekwencją obecności tego antywzorca w projekcie korpusu przekładni ślimakowej jest nadmierny rozrzut wielkości luzu w przekładni. Zwiększa to niedokładność

kinematyczną reduktora oraz zmniejsza trwałość mechanizmu.

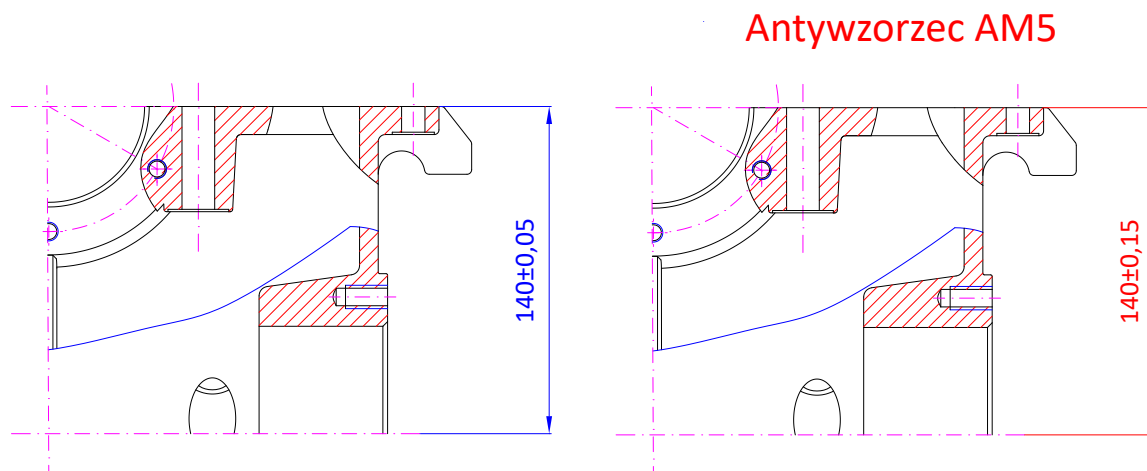
Przyczyny występowania tego antywzorca są typowe dla niewłaściwie zdefiniowanego zakresu projektu oraz tzw. „błędu ludzkiego”:

- *EAT* - niewłaściwie przypisane zadania w zespole projektowym;
- *ECF* - niewłaściwe złożenie funkcjonalnych elementów konstrukcji;
- *EED* - brak oceny zachowania konstrukcji w warunkach operacyjnych.
- *ELV* - brak weryfikacji projektu (np. komponentów, wielokryteriowej), brak oceny jakości konstrukcji;
- *EOC* - zastosowanie wycofanych komponentów, norm lub standardów;

Symboliczna reprezentacja tego antywzorca jest podobna do opisów zdefiniowanych dla innych cech tolerancji kształtu (np. AM1, AM2, AM3). Różnice pomiędzy nimi wynikają jedynie z interpretacji błędu oraz potrzeby złożenia dwóch osi definiujących miejsca osadzenia łożysk ślimaka i ślimacznicy. Ta cecha konstrukcji, powinna więc zostać zdefiniowana dwukrotnie, jawnie duplikując wartość tolerancji prostopadłości w obu z obiektów elementarnych konstrukcji.

```
1  klasa: korpus przekładni ślimakowej,  
2  cechy: {  
3    tp: { klasa: tolerancja prostopadłości, jednostka: mm }  
4  },  
5  węzły: {  
6    ob1: {  
7      klasa: obudowa korpusu przekładni ślimakowej,  
8      węzły: {  
9        op1: {  
10       klasa: oprawa łożysk ślimacznicy,  
11       cechy: {  
12         tp: 0.12,  
13       }  
14     },  
15     oś2: {  
16       klasa: oś ślimaka,  
17       cechy: {  
18         tp: 0.12,  
19       }  
20     }  
21   }  
22 } }
```

**Listing 4.6:** Symboliczny opis antywzorca AM4



**Rysunek 4.10:** AM5 - rozstaw osiowy ślimaka i ślimacznicy

#### 4.2.7 AM5 - rozstaw osiowy

Nieprawidłowość reprezentowana przez antyworzec AM5 (rys. 4.10), wynika z niewłaściwej dokładności rozstawu osi ślimaka i ślimacznicy. Zidentyfikowany na antywzorcowym korpusie błąd (rys. 4.2), odnosi się do dwóch osi - niematerialnych elementów projektu konstrukcji. Osie te są centralnymi elementami definiującymi pozycję obiektów, nie rozmieszczonych w analizowanym zapisie.

Reprezentowany w antywzorcu błąd wynika z odchylenia wartości przypisanej w projekcie w stosunku do dokładności rozstawu osi ślimaka i ślimacznicy. Wskazana w projekcie wartość ( $\pm 0,15\text{mm}$ ) znacznie przekracza wartość dopuszczalną ( $\pm 0,06\text{mm}$ ) i obniża jakość funkcji realizowanej przez obiekty elementarne (ślimak i ślimacznice).

Obecność tego antywzorca obniża jakość głównej funkcji mechanizmu, którego częścią jest projektowany korpus. Do wskazania i powiązania antywzorca z kauzalizmem mechanizmu należy użyć złożonej relacji cech konstrukcyjnych, które po uwzględnieniu pełnego kontekstu informacyjnego (przyszłe złączenie korpusu ze ślimakiem i ślimacznica) wskazują nieprawidłowości obniżające jakość głównej funkcji części maszyny. Nadmierne odchyłki kinematyczne, luz wierzchołkowy przekładni i zmniejszenie dokładności kinematycznej reduktora, wynikają bezpośrednio ze zbyt dużego rozstawu osiowego ślimaka i ślimacznicy.

Możliwe przyczyny występowania tego antywzorca to:

- *ECF* - niewłaściwe złożenie funkcjonalnych elementów konstrukcji;
- *EDG* - dominacja graficznych zadań nad koncepcyjną analizą opisu, cech konstrukcyjnych, struktury konstrukcji;
- *EED* - brak oceny zachowania konstrukcji w warunkach operacyjnych.

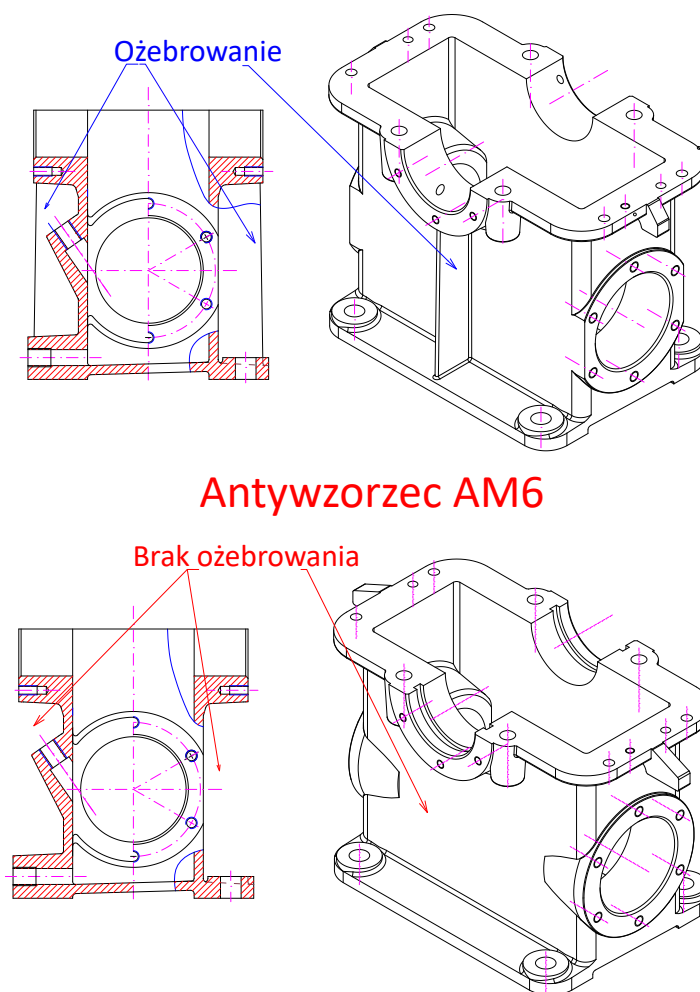
- *ELV* - brak weryfikacji projektu (np. komponentów, wielokryteriowej), brak oceny jakości konstrukcji;
- *EOC* - zastosowanie wycofanych komponentów, norm lub standardów;
- *ESE* - odłożona ocena rozwiązania i nadmierne zaufanie odnośnie wynikowej łatwości w eksploatacji;

Złożoność symbolicznej reprezentacji tego antywzorca zawiera się w definicji cech, którym w zależności od ich klasy, należy nadać odpowiedni kontekst obliczeniowy i interpretacyjny. Ze względu na przyjętą metodę dekompozycji struktury konstrukcji, nie jest możliwe wskazanie węzłów (obiektów elementarnych) reprezentujących zewnętrzne dla zapisu elementy. Osie elementów, jawnie reprezentowane w rysunku technicznym i opisie słownym, ze względu na swoją abstrakcyjną naturę, również nie są bezpośrednio reprezentowane w formie węzłów zapisu symbolicznego.

Do opisu tego antywzorca, został użyty mechanizm dziedziczenia klas cech konstrukcji. Pozwala on na reprezentację złożonych form leksykalnych (np. rozstawu osi ślimaka i ślimacznicy w korpusie przekładni ślimakowej) w ramach opracowanego języka zapisu cech konstrukcji mechanicznych.

```
1  klasa: korpus przekładni ślimakowej,  
2  cechy: {  
3      ro: {  
4          klasa: rozstaw osi ślimaka i ślimacznicy,  
5          jednostka: mm  
6      },  
7  dro: {  
8      klasa: dokładność rozstawu osi ślimaka i ślimacznicy,  
9      jednostka: mm  
10 }  
11 },  
12 węzły: {  
13     ob1: {  
14         klasa: obudowa korpusu przekładni ślimakowej,  
15         cechy: {  
16             ro: 140,  
17             dro: 0.15  
18         }  
19     }  
20 }
```

**Listing 4.7:** Symboliczny opis antywzorca AM5



Rysunek 4.11: AM6 - ożebrowanie korpusu przekładni ślimakowej

#### 4.2.8 AM6 - brak ożebrowania

Kolejną nieprawidłowością zidentyfikowaną w antywzorcowym korpusie nr 2 (rys. 4.3) jest błąd wynikający z braku ożebrowania w konstrukcji korpusu przekładni ślimakowej (rys. 4.11). Ze względu na strukturalny charakter informacji o ożebrowaniu, badany rysunek techniczny wizualizuje elementy ożebrowania w ramach odpowiednich widoków. Badany projekt antywzorcowego korpusu nr 2 (rys. 4.3) wskazuje na obecność ożebrowania jedynie w poglądowym, niezwymiarowanym widoku konstrukcji.

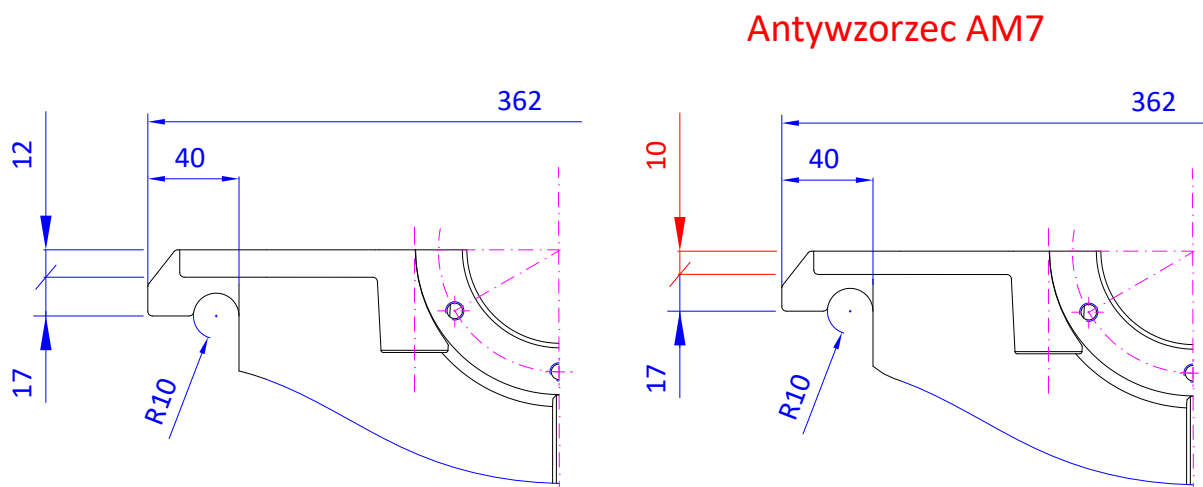
Zarówno częściowy jak i całkowity brak informacji o ożebrowaniu może doprowadzić do obniżenia jakości z jaką korpus realizuje swoją funkcję. Wynika to ze zwiększonej wibroaktywności korpusu, zmniejszonej sztywności (węzłów łożyskowych) w miejscach osadzenia łożysk oraz zwiększenia częstości występowania pęknięć skurczowych na obudowie. Braki ożebrowania na badanym rysunku są niespójne, co wskazuje na przyczynę błędu wynikającą z błędu ludzkiego. Innymi możliwymi przyczynami występowania tego antywzorca są:

- *EDG* - dominacja graficznych zadań nad koncepcyjną analizą opisu, cech konstrukcyjnych, struktury konstrukcji;
- *EDV* - zaniedbanie, świadomość późniejszej weryfikacji, niejasna struktura odpowiedzialności;
- *EDR* - pośpiech w przygotowaniu projektu;
- *EED* - brak oceny zachowania konstrukcji w warunkach operacyjnych.
- *ELV* - brak weryfikacji projektu (np. komponentów, wielokryteriowej), brak oceny jakości konstrukcji;
- *ESE* - odłożona ocena rozwiązania i nadmierne zaufanie odnośnie wynikowej łatwości w eksploatacji;

Oprócz strukturalnego charakteru nieprawidłowości, jest ona sformułowana w formie zaprzeczenia istnienia rozwiązania wzorcowego (brak istnienia prawidłowego ożebrowania). Jednak w opracowanym deklaratywnym zapisie brakuje mechanizmów pozwalających na reprezentację formy negującej. Możliwość wykrywania tego antywzorca oparto o odwrócenie sposobu interpretacji wyników obliczeń pozwalających na wykrycie wzorca danych w konstrukcji. W takich przypadkach, obliczenia prowadzone przez wybrane metody numeryczne mają identyczne zadanie - wykryć podobieństwo do symbolicznego zapisu, jednak interpretacja ich wpływu na funkcję realizowaną przez konstrukcję jest odwrotna do tej wynikającej z interpretacji antywzorca.

```
1  klasa: korpus przekładni ślimakowej,  
2  węzły: {  
3    ob2: {  
4      klasa: obudowa korpusu przekładni ślimakowej,  
5      węzły: {  
6        oż: {  
7          klasa: ożebrowanie obudowy,  
8          węzły: {  
9            ż1: {  
10           klasa: żebro obudowy,  
11           },  
12           ż2: {  
13            klasa: żebro obudowy,  
14          } } } } } }
```

**Listing 4.8:** Symboliczny opis wzorca AM6



**Rysunek 4.12:** AM7.1 - wysokość kołnierza pod pokrywą

#### 4.2.9 AM7 - wysokość kołnierza pod pokrywą

Kolejnym błędem konstrukcyjnym (rys. 4.12) reprezentującym trzeci (niebezpośredni) typ relacji jest występująca na antywzorcowym korpusie (rys. 4.2) wartość przypisana do wysokości kołnierza, do którego przykręcana jest pokrywa korpusu. Istotnym strukturalnym czynnikiem antywzorca, jest obecność półkolistego podcięcia ucha nośnego, widocznego na rysunkach oraz wymiary istotnych elementów korpusu.

Wiedza zawarta w tym antywzorcu, oparta jest o doświadczenie konstruktora i przewidywane obniżenie jakości kołnierza, którego wysokość powinna uwzględniać czynniki zarówno produkcyjne (np. fałdy odlewnicze) jak i eksploatacyjne (np. sztywność, odporność na zachodzące w konstrukcji obciążenia). Zawarty w tym antywzorcu błąd może zostać uproszczony do niewłaściwie dobranej wysokości (10mm) - niewiele niższej od wartości prawidłowej (12mm), która gwarantuje właściwą produkcję i funkcjonowanie kołnierza.

Możliwe przyczyny występowania tego antywzorca to:

- *EAT* - niewłaściwie przypisane zadania w zespole projektowym;
- *ECF* - niewłaściwe złożenie funkcjonalnych elementów konstrukcji;
- *EDG* - dominacja graficznych zadań nad koncepcyjną analizą opisu, cech konstrukcyjnych, struktury konstrukcji;
- *EED* - brak oceny zachowania konstrukcji w warunkach operacyjnych.
- *ELV* - brak weryfikacji projektu (np. komponentów, wielokryteriowej), brak oceny jakości konstrukcji;



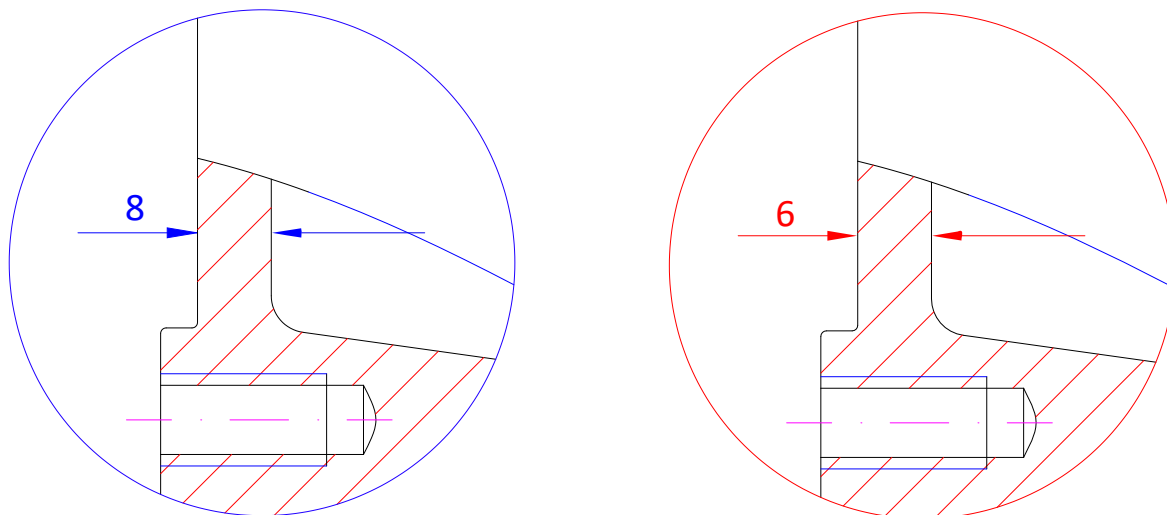
- *ESE* - odłożona ocena rozwiązania i nadmierne zaufanie odnośnie wynikowej łatwości w eksploatacji;

Złożoność symbolicznej reprezentacji tego antywzorca, wynika z potrzeby reprezentacji dodatkowego kontekstu informacyjnego, bez którego sama wartość (nawet w kontekście konkretnej klasy) nie pozwala na zdefiniowanie błędu. Konieczne jest zawarcie w symbolicznym opisie antywzorca bardziej konkretnej struktury węzłów zawierających wartości cech powiązanych obiektów w strukturze.

```
1  klasa: korpus przekładni ślimakowej,  
2  cechy: {  
3    wysokość: { klasa: wartość, jednostka: milimetr },  
4    promień: { klasa: wartość, jednostka: milimetr },  
5    długość: { klasa: wartość, jednostka: milimetr }  
6  },  
7  węzły: {  
8    ob1: {  
9      klasa: obudowa korpusu przekładni ślimakowej,  
10     węzły: {  
11       ko1: {  
12         klasa: kołnierz pod pokrywą,  
13         węzły: {  
14           p1: {  
15             klasa: powierzchnia,  
16             cechy: { wysokość: 10 }  
17           },  
18           un1: {  
19             klasa: ucho nośne,  
20             cechy: {  
21               długość: 40,  
22               wysokość: 17,  
23             },  
24             węzły: {  
25               pod1: {  
26                 klasa: półkoliste podcięcie,  
27                 cechy: { promień: 10 }  
28               }  
29             }  
30           }  
31         }  
32       }  
33     }  
34   }  
35 }
```

**Listing 4.9:** Symboliczny opis antywzorca AM7

## Antywzorzec AO1



Rysunek 4.13: AO1 - połączenia ścian korpusu

### 4.2.10 AO1 - grubość ściany

W ramach antywzorcowego korpusu nr 1 (rys. 4.2) zidentyfikowano antywzorzec konstrukcyjny, którego nieprawidłowość (rys. 4.13) wynika z niewłaściwego dostosowania grubości ściany korpusu do rodzaju użytego materiału - żeliwa szarego. Jest to antywzorzec reprezentujący pierwszy (bezpośredni) typ relacji, jednak do jego zidentyfikowania należy uwzględnić możliwe wady, które nie występują w opisie projektu w sposób jawny, a objawiają się w trakcie produkcji (odlewu) elementu.

Błąd konstruktora wynika z niedostosowania wymiaru elementu konstrukcji do charakteru procesu produkcyjnego, a tym samym grubości ścian korpusu od minimalnej wartości przyjmowanej dla żeliwa szarego. Niewłaściwie dobrana grubość ścian obudowy korpusu (6mm) może spowodować wady nieciągłości materiału (np. fałdy, niedolewy, niespawy), obniżając jakość spełnianych przez obudowę funkcji.

Nieprawidłowość reprezentowana przez antywzorzec AO1 jest wynikiem wzajemnego niedostosowania dwóch cech konstrukcji: grubości elementu i materiału z którego jest on wykonany.

Potencjalne przyczyny występowania tego antywzorca obejmują więc zarówno tzw. czynnik ludzki, błędy materiałowe oraz problemy z komunikacją informacji w trakcie tworzenia projektu.

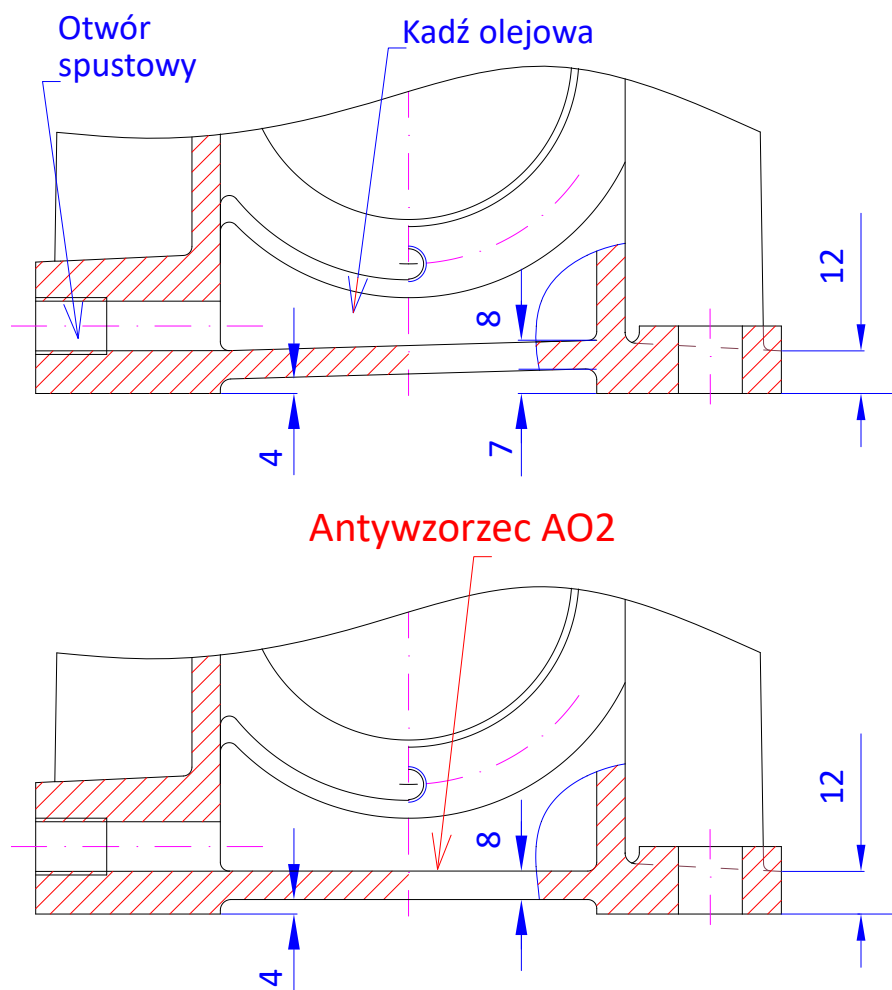
- ECM - niewłaściwy dobór materiałów;
- EDG - dominacja graficznych zadań nad koncepcyjną analizą opisu, cech konstrukcyjnych, struktury konstrukcji;

- *EDR* - pośpiech w przygotowaniu projektu;
- *EDS* - zbyt łatwo odkształcalna struktura;
- *EDV* - zaniedbanie, świadomość późniejszej weryfikacji, niejasna struktura odpowiedzialności;
- *EED* - brak oceny zachowania konstrukcji w warunkach operacyjnych.
- *ELV* - brak weryfikacji projektu (np. komponentów, wielokryteriowej), brak oceny jakości konstrukcji;
- *EOE* - brak oceny i weryfikacji czynników ekonomicznych;

Oparty o złożenie dwóch cech konstrukcyjnych antywzorzec, wymaga reprezentacji wartości przypisanej do grubości obudowy wraz z informacją o użytym w niej materiale - żeliwie szarym. Złożenie tych podstawowych wartości, pozwala na kompletną reprezentację antywzorca AO1:

```
1  klasa: korpus przekładni ślimakowej,  
2  cechy: {  
3    grubość: { klasa: wartość, jednostka: milimetr }  
4    materiał: { klasa: stop żelaza }  
5  },  
6  węzły: {  
7    ob1: {  
8      klasa: obudowa korpusu przekładni ślimakowej,  
9      cechy: {  
10         grubość: 6,  
11         materiał: żeliwo szare zwykłe  
12       }  
13     }  
14  }
```

**Listing 4.10:** Symboliczny opis antywzorca AO1



Rysunek 4.14: AO2 - pochylenie kadzi olejowej

#### 4.2.11 AO2 - pochylenie dna kadzi olejowej

W ramach antywzorcowego korpusu nr 2 (rys. 4.3) odnaleźć można również błąd wartości przypisanej do cechy *pochylenie dna kadzi olejowej* (rys. 4.14). Na rysunku technicznym, cecha ta nie posiada wartości przypisanej konkretnej wartości i o ile można ją próbować wykryć wizualnie, to jest to niepraktyczne ze względu na jedynie subtelne różnice w jej reprezentacji graficznej.

Podczas analizy projektu, konstruktor widząc dwa różne wymiary wysokości odstępu dna kadzi od podstawy, może wnioskować o istnieniu pochylenia dna kadzi, które zmniejszy niebezpieczeństwo występowania niedolewów i zimnych spoin.

Sedno nieprawidłowości zawarte w tym antywzorcu można zredukować do braku informacji (bezpośredniej lub niebezpośredniej) o kącie pochylenia konkretnej płaszczyzny konstrukcji (dna kadzi olejowej). Przyczyn braku takiej informacji można doszukiwać się głównie w czynnikach takich jak:

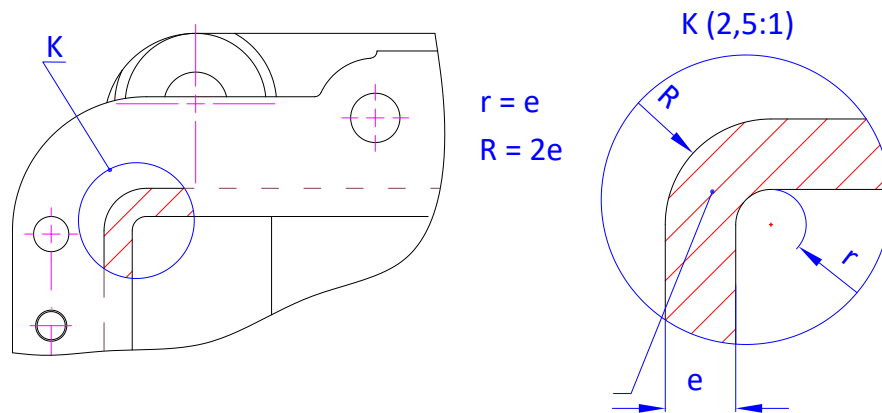
- EDR - pośpiech w przygotowaniu projektu;

- *EDG* - dominacja graficznych zadań nad koncepcyjną analizą opisu, cech konstrukcyjnych, struktury konstrukcji;
- *EDV* - zaniedbanie, świadomość późniejszej weryfikacji, niejasna struktura odpowiedzialności;
- *ELV* - brak weryfikacji projektu (np. komponentów, wielokryteriowej), brak oceny jakości konstrukcji;
- *EED* - brak oceny zachowania konstrukcji w warunkach operacyjnych.
- *ETP* - niedoszacowanie wpływu problemów i błędów technologicznych na jakość końcowego produktu,

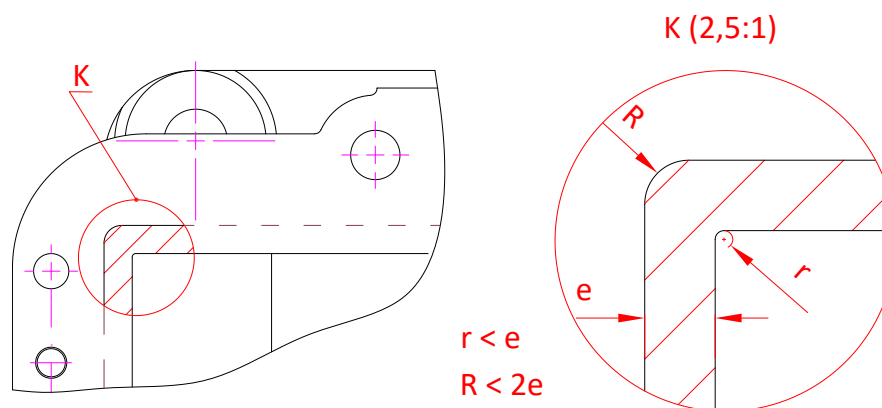
Do symbolicznej reprezentacji nieprawidłowości reprezentowanej przez ten antywzorzec, należy jednoznacznie wskazać brak pochylenia dna kadzi olejowej. Replikując powszechnie stosowany w rysunku technicznym sposób reprezentacji (wskazanie odległości od krawędzi podstawy), można antywzorzec ten przedstawić w formie wektorowych wymiarów poszczególnych krawędzi dna kadzi olejowej. Drugim, bardziej bezpośrednim sposobem reprezentacji tej cechy konstrukcji, jest przedstawienie jej w formie złożenia kątów. Reprezentacja ta, musi jednak zostać uzupełniona informacją o tym które odchylenia od zera są błędne.

```
1  klasa: korpus przekładni ślimakowej,  
2  cechy: {  
3    pochylenie: { klasa: pochylenie płaszczyzny, jednostka: wektor  
4      kątów }  
5  },  
6  węzły: {  
7    ob1: {  
8      klasa: obudowa korpusu przekładni ślimakowej,  
9      węzły: {  
10     ko1: {  
11       klasa: kadź olejowa,  
12       węzły: {  
13        p1: {  
14         klasa: dno,  
15         cechy: {  
16           pochylenie: (x: 0-, z: 0-)  
17       } } } } } } }
```

**Listing 4.11:** Symboliczny opis antywzorca AO2



### Antywzorzec AO3



Rysunek 4.15: AO3 - ukształtowanie połączenia ścian obudowy korpusu odlewanego

#### 4.2.12 AO3 - zgrubienia w odlewie

W trakcie analizy antywzorcowych korpusów (rys. 4.2, 4.3) zidentyfikowana została reguła, która o ile jest przestrzegana w ramach badanych projektów - pozwala na utworzenie kolejnego antywzorca odlewniczego.

Sedno reprezentowanego przez ten antywzorzec (rys. 4.15) błędu można sprowadzić do wymagania aby promień wewnętrznego połączenia ścian obudowy korpusu nie był mniejszy od ich grubości, a promień zewnętrzny był nie mniejszy niż dwukrotność grubości łączonych ścian.

Przyczyny występowania w konstrukcji błędów tego typu wywodzą się głównie z braków w wiedzy odlewniczej i nieprawidłowościach procesów projektowych:

- EDG - dominacja graficznych zadań nad koncepcyjną analizą opisu, cech konstrukcyjnych, struktury konstrukcji;

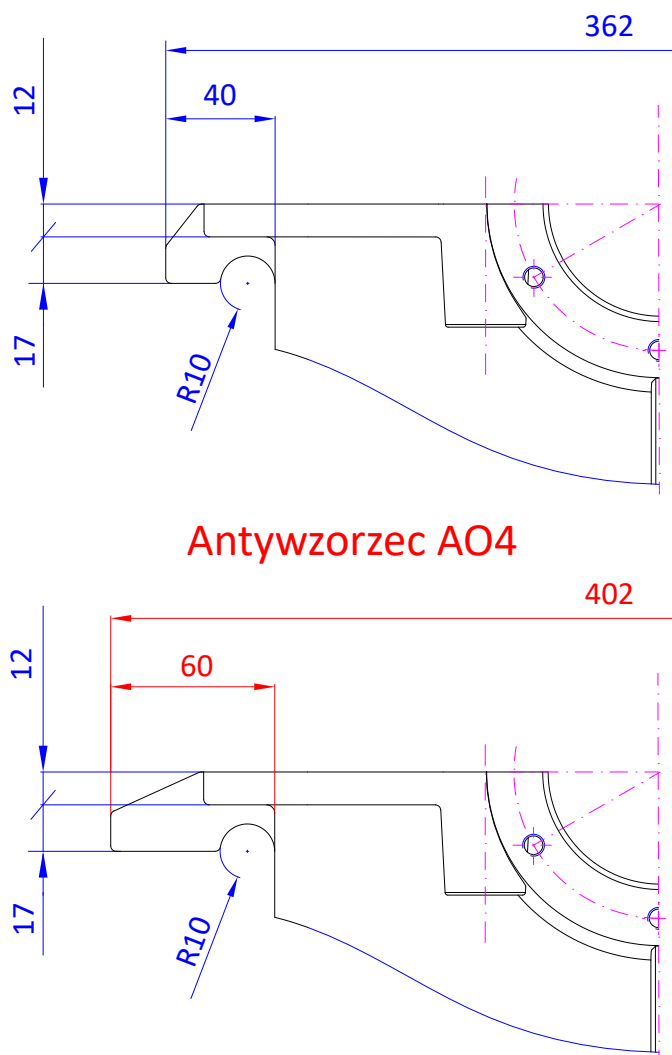
- *ELV* - brak weryfikacji projektu (np. komponentów, wielokryteriowej), brak oceny jakości konstrukcji;
- *EDR* - pośpiech w przygotowaniu projektu;
- *EDV* - zaniedbanie, świadomość późniejszej weryfikacji, niejasna struktura odpowiedzialności;
- *EED* - brak oceny zachowania konstrukcji w warunkach operacyjnych.
- *ETP* - niedoszacowanie wpływu problemów i błędów technologicznych na jakość końcowego produktu,

Niewłaściwie dobrana grubość ścian do promieni łączenia krawędzi jamy skurczowej, powoduje lokalne zgrubienia i węzły cieplne. Błędy tego typu uniemożliwiają stosowanie zasady krzepnięcia jednoczesnego oraz stwarzają niebezpieczeństwo powstawania wad skurczowych (jam i rzadzizn). Aby skompensować występujące problemy technologiczne, można uzupełnić projekt o dodatkowe elementy w postaci nadlewów, ochładzalników lub zmiany konstrukcji: zmniejszenie grubości ścianek, lokalne wybrania, otwory, przesunięcie punktów przecięcia ścian lub żeber itp.

Wprowadzenie do definicji antywzorca struktur kompensujących byłoby jednak niewłaściwe, gdyż można byłoby definiować antywzorce w antywzorcach. Zamiast tego, należy zawęzić symboliczną reprezentację antywzorca do sedna jednej nieprawidłowości. Oprócz wskazania wartości przypisanych promieniom na łączeniu ścian obudowy korpusu, wymaga to również zdefiniowania swoistego kierunku nieprawidłowości występującego w relacji promieni do grubości łączonych ścian obudowy.

```
1  klasa: korpus przekładni ślimakowej,  
2  cechy: {  
3    grubość: { klasa: wartość, jednostka: milimetr },  
4    r: { klasa: promień, jednostka: milimetr },  
5    R: { klasa: promień, jednostka: milimetr }  
6  },  
7  węzły: {  
8    ob1: {  
9      klasa: obudowa korpusu przekładni ślimakowej,  
10     cechy: {  
11       grubość: 6,  
12       r: 4,  
13       R: 8  
14     } } }  
}
```

**Listing 4.12:** Symboliczny opis antywzorca AO3



Rysunek 4.16: AO4.1 - wymiary ucha nośnego korpusu

#### 4.2.13 AO4 - nadmiar wymiaru

Nieprawidłowość zidentyfikowana w antywzorcowym korpusie nr. 2 (rys. 4.3) wynika z nadmiernej długości ucha nośnego projektowanego korpusu. Błąd ten (rys. 4.16) widoczny jest w dwóch z rzutów przedstawionej konstrukcji, jednak wartość przypisana długości obiektu widoczna jest tylko jednym z przypadków - AO4.1.

Antyworzec ten oparty jest o obserwację nadmierności gabarytu korpusu (402mm) przekraczającej wartość przyjętą za prawidłową dla tego projektu (362mm). Błąd jednak wynika nie z niewłaściwie dobranej długości korpusu, lecz jedynie jednej z jego części składowych - ucha nośnego. Opis tej nieprawidłowości można więc zredukować do nieprawidłowo dobranych wymiarów ucha nośnego, funkcjonujących w szerszym kontekście wymiarów całego korpusu.

Konsekwencją niższej zwartości konstrukcji korpusu są możliwe hamowania skur-



czu odlewniczego co może zredukować jakość funkcji realizowanej zarówno przez ucho nośne jak i przez obudowę korpusu.

Można wyróżnić następujące przyczyny występowania błędów tego typu:

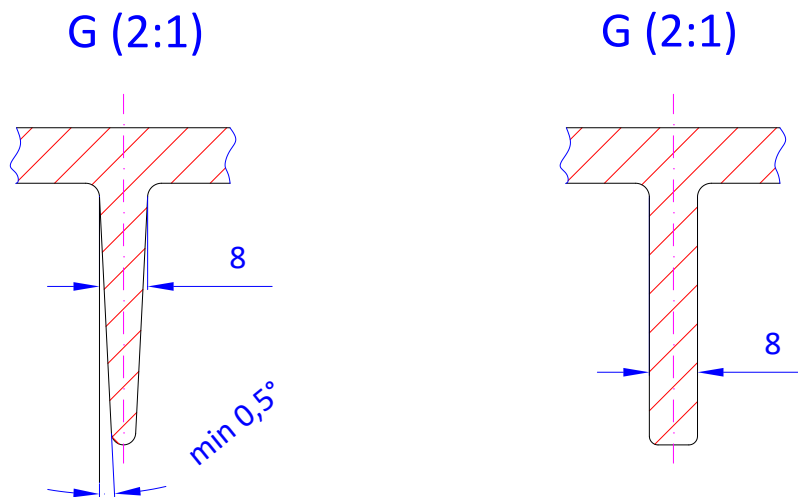
- *EAS* - uporczywe stosowanie rozwiązań (w pewnych kontekstach prawidłowych);
- *EAT* - niewłaściwie przypisane zadania w zespole projektowym;
- *EDG* - dominacja graficznych zadań nad koncepcyjną analizą opisu, cech konstrukcyjnych, struktury konstrukcji;
- *EDV* - zaniedbanie, świadomość późniejszej weryfikacji, niejasna struktura odpowiedzialności;
- *ELV* - brak weryfikacji projektu (np. komponentów, wielokryteriowej), brak oceny jakości konstrukcji;
- *EOC* - zastosowanie starych rozwiązań i norm;

W ramach symbolicznej reprezentacji tego antywzorca, należy zawrzeć złożenie wymiarów korpusu z wymiarami ucha nośnego. Komplet tych informacji, pozwala na ocenę stosunku gabarytów tych obiektów elementarnych a tym samym - wykrycie nadmiarowej długości ucha nośnego.

```
1  klasa: korpus przekładni ślimakowej,  
2  cechy: {  
3    długość: { klasa: wartość, jednostka: milimetr },  
4    wysokość: { klasa: wartość, jednostka: milimetr },  
5  },  
6  węzły: {  
7    k1: {  
8      klasa: obudowa korpusu przekładni ślimakowej,  
9      cechy: {  
10     długość: 402,  
11     wysokość: 235,  
12   },  
13   węzły: {  
14     un1: {  
15       klasa: ucho nośne,  
16       cechy: {  
17         długość: 60,  
18         wysokość: 29  
19     } } } } }
```

**Listing 4.13:** Symboliczny opis antywzorca AO4

## Antywzorzec AO5



Rysunek 4.17: AO5 - pochylenie odlewnicze

## 4.2.14 AO5 - pochylenie odlewnicze

W antywzorcowym korpusie nr 2 (rys. 4.3), w ramach widoku *G* wskazana jest grubość zębra, która ze względu na niepełną definicję (pominięcie informacji o pochyleniu odlewniczym) może zostać zidentyfikowana jako antywzorzec (rys. 4.17).

Nieprawidłowość zawarta w tym antywzorcu (błędne pochylenie wybranych ścian), wymaga zdefiniowania szerokiego kontekstu informacyjnego - wymagane jest ustalenie optymalnej powierzchni podziału i wyjmowania modelu z formy piaskowej. Błąd wynikający z braku zdefiniowanego pochylenia odlewniczego stwarza utrudnienia w procesie produkcji. Jego esencja sprowadza się do niewłaściwej wartości kąta pochylenia odlewniczego (lub jego braku) w symbolicznej reprezentacji konstrukcji.

Przyczyny występowania tego antywzorca wywodzą się z nieuwzględnienia czynników występujących jedynie w trakcie produkcji elementu i można się ich doszukiwać pomiędzy następującymi źródłami antywzorców:

- *EAS* - uporczywe stosowanie rozwiązań (w pewnych kontekstach prawidłowych);
- *EAT* - niewłaściwie przypisane zadania w zespole projektowym;
- *EDG* - dominacja graficznych zadań nad koncepcyjną analizą opisu, cech konstrukcyjnych, struktury konstrukcji;
- *EDV* - zaniedbanie, świadomość późniejszej weryfikacji, niejasna struktura odpowiedzialności;

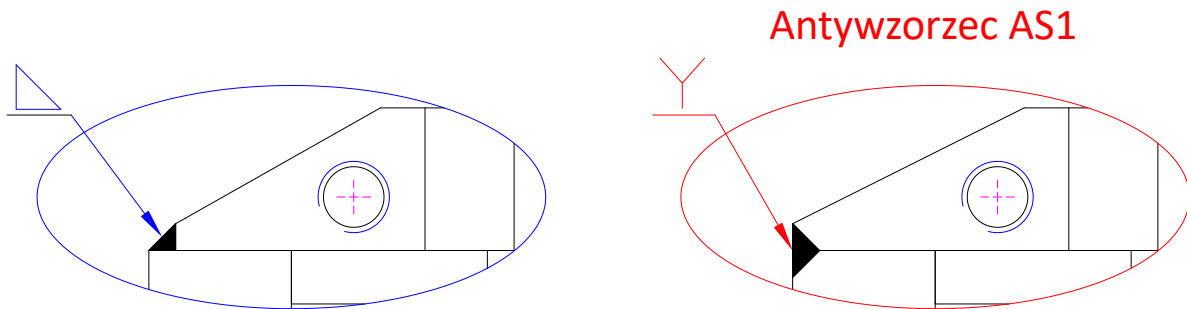
- *ELV* - brak weryfikacji projektu (np. komponentów, wielokryteriowej), brak oceny jakości konstrukcji;

Do zapisu symbolicznego, który ma przedstawiać jedynie błędną cechę konstrukcji należy wskazać klasę obiektów elementarnych (ożebrowanie korpusu), którą należy wskazać przy tego typu nieprawidłowości. Ze względu na naturę tego błędu, można go zaobserwować w wielu elementach zewnętrznych konstrukcji mechanicznych. W rozpatrywanym przypadku, antywzorec został zidentyfikowany dla ożebrowania korpusu, którego parametry powinny się mieścić w zadanych dla użytej klasy materiału normach.

Aby uniknąć wektorowej reprezentacji kierunków powierzchni podziału, a tym samym utrzymać wysoki poziom abstrakcyjności i replikowalności antywzorca, przyjęto że pochylenie odlewnicze jest podstawową cechą modelu, którą podobnie jak w rysunku technicznym - można dowolnie zdefiniować dla wybranych klas konstrukcji (w tym przypadku ożebrowania korpusu).

```
1  klasa: korpus przekładni ślimakowej,  
2  cechy: {  
3    pochylenie odlewnicze: { klasa: wartość, jednostka: kąt }  
4  },  
5  węzły: {  
6    ob2: {  
7      klasa: obudowa korpusu przekładni ślimakowej,  
8      węzły: {  
9        oż: {  
10       klasa: ożebrowanie obudowy,  
11       węzły: {  
12        ż1: {  
13         klasa: żebro obudowy,  
14         cechy: {  
15           pochylenie odlewnicze: 0  
16         }  
17       }  
18     }  
19   }  
20 }  
21 }  
22 }
```

**Listing 4.14:** Symboliczny opis antywzorca AO5



Rysunek 4.18: AS1 - brzegi do spawania

#### 4.2.15 AS1 - obróbka brzegów do spawania

Błędne cechy konstrukcji odnaleźć można również w wartościach opisujących stosowane spoiny (rys. 4.18). Podobnie jak w poprzednich przypadkach - nieprawidłowość nie musi wynikać bezpośrednio z wartości użytej do opisu wybranej cechy. W rozpatrywanym przypadku (AS1) - o ile można dopuścić stosowanie spoiny typu  $Y$ , to wymaga to nadmiernej pracochłonności - obróbki dwóch elementów konstrukcji raczej niż tylko jednego.

Prawidłowe rozwiązanie minimalizuje ilość elementów, które należy poddać obróbce, dlatego aby efektywnie zdefiniować ten antywzorzec należy wskazać wszystkie typy spoin wymagających obróbki więcej niż jednego elementu (spoiny typu  $V$ ,  $Y$ ,  $U$ ). Bez zawężenia kontekstu struktur dla których to rozwiązanie jest błędne, niewłaściwym jest niezmiennie interpretowanie tego typu połączeń jako antywzorcowych.

Przyczyn występowania tego antywzorca można doszukiwać się w: *EAT* - niewłaściwie przypisanych zadaniach w zespole projektowym oraz *EDG* - dominacji graficznych zadań nad koncepcyjną analizą opisu, cech oraz struktury konstrukcji.

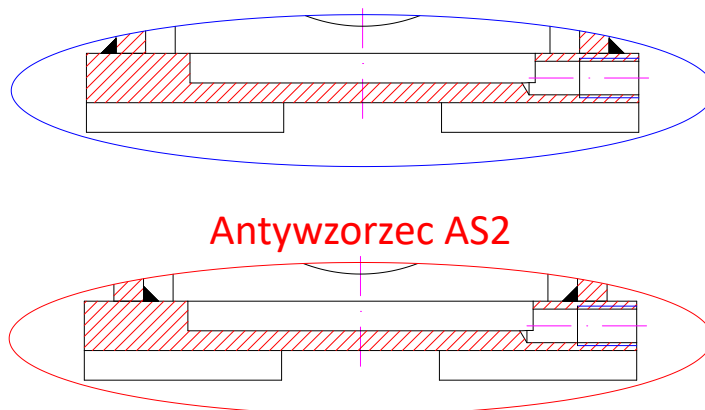
Symboliczna reprezentacja tego antywzorca, o ile możliwa do stworzenia, nie powinna być użyta ze względu na nadmierny zakres definicji, kolidujący z rozwiązaniami, gdzie obróbka dwóch łączonych płaszczyzn będzie zasadna.

```

1 p1: {
2   węzły: {
3     f1: { klasa: frez }, s1: { klasa: spoina Y }
4   }
5 },
6 p2: {
7   węzły: {
8     f2: { klasa: frez }, s1: { klasa: spoina Y }
9   } }

```

Listing 4.15: Symboliczny opis antywzorca AS1



Rysunek 4.19: AS2 - lokalizacja spiny pachwinowej

### 4.2.16 AS2 - lokalizacja spoiny pachwinowej

Kolejnym antywzorcem wynikającym z niewystarczającego użycia wiedzy konstruktorskiej z obszaru spawalnictwa, jest umieszczenie w opisie projektu spoiny łączącej obudowę z podstawą konstrukcji po wewnętrznej stronie korpusu (rys. 4.19). Nieprawidłowość ta wynika ze znacznego obniżenia dostępności spawanych elementów, w przypadku pewnych wymiarów - blokujących dostęp elektrody w trakcie spawania.

Przyczyny występowania tego antywzorca można odnaleźć w: *EAS* - uporczywym stosowaniu rozwiązań (w pewnych kontekstach prawidłowych); *ELV* - braku weryfikacji projektu (np. komponentów, wielokryteriowej), braku oceny jakości konstrukcji; *EAT* - niewłaściwie przypisanych zadaniach w zespole projektowym.

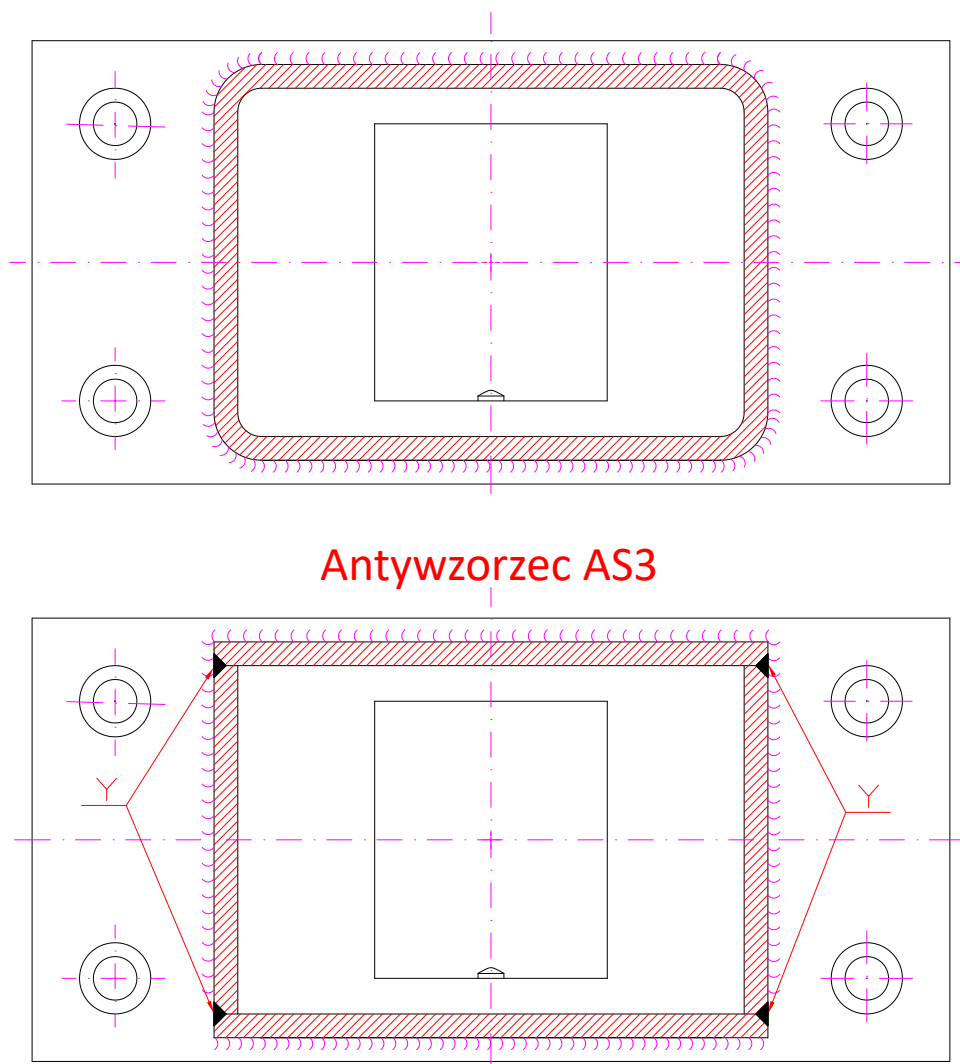
Do zdefiniowania symbolicznej reprezentacji tego antywzorca, należy wskazać rodzaj spoiny oraz zdefiniować kontekst jej lokalizacji (łączenie podstawy z obudową).

```

1  klasa: korpus,
2  węzły: {
3    p1: {
4      klasa: podstawa korpusu,
5      węzły: {
6        s1: { klasa: spoina pachwinowa }
7      }
8    },
9    ob3: {
10     klasa: obudowa korpusu,
11     węzły: {
12       s1: { klasa: wewnętrzna spoina pachwinowa }
13     } } }

```

Listing 4.16: Symboliczny opis antywzorca AS2



**Rysunek 4.20:** AS3 - połączenie spawane ścian korpusu z podstawą

#### 4.2.17 AS3 - ułożenie ścian

Kolejny zidentyfikowany antywzorzec, wynika z nieprawidłowej konstrukcji ścian korpusu (rys. 4.20). W antywzorcowym rozwiązaniu, zastosowano cztery spoiny grzbietowe typu Y łączące cztery ściany tworzące obudowę korpusu. To błędne rozwiązanie powinno zostać zastąpione np. prostokątnym profilem, pozwalającym na eliminację spoin, frezów, zwiększenie sztywności i dokładności konstrukcji oraz redukuje czasochłonność przygotowania elementu.

Przyczyn występowania nieprawidłowości tego typu, można doszukiwać się w:

- *EAS* - uporczywe stosowanie rozwiązań (w pewnych kontekstach prawidłowych);
- *EDG* - dominacja graficznych zadań nad koncepcyjną analizą opisu, cech konstrukcyjnych, struktury konstrukcji;

- *EAT* - niewłaściwie przypisane zadania w zespole projektowym;
- *ELV* - brak weryfikacji projektu (np. komponentów, wielokryteriowej), brak oceny jakości konstrukcji;

Do symbolicznej reprezentacji tego antywzorca należy wskazać niewłaściwą konstrukcję obudowy korpusu (np. przekładni ślimakowej), która zbudowana jest z kilku ścian, łączonych spoinami dowolnego typu.

```
1  klasa: obudowa korpusu,  
2  węzły: {  
3    s1: {  
4      klasa: ściana,  
5      węzły: {  
6        f1: { klasa: frez }, s1: { klasa: spoina },  
7        f2: { klasa: frez }, s2: { klasa: spoina }  
8      }  
9    },  
10   s2: {  
11     klasa: ściana,  
12     węzły: {  
13       f3: { klasa: frez }, s2: { klasa: spoina },  
14       f4: { klasa: frez }, s3: { klasa: spoina }  
15     }  
16   },  
17   s3: {  
18     klasa: ściana,  
19     węzły: {  
20       f5: { klasa: frez }, s3: { klasa: spoina },  
21       f6: { klasa: frez }, s4: { klasa: spoina }  
22     }  
23   },  
24   s4: {  
25     klasa: ściana,  
26     węzły: {  
27       f7: { klasa: frez }, s4: { klasa: spoina },  
28       f8: { klasa: frez }, s1: { klasa: spoina }  
29     }  
30   }  
31 }
```

**Listing 4.17:** Symboliczny opis antywzorca AS3

### 4.3 Antywzorce w ocenie jakości

Użycie antywzorców do oceny jakości jest możliwe dopiero po przekształceniu typowego dla tej problematyki pytania „co zrobić żeby było dobrze” w formę odwrotną „czego nie robić żeby nie było źle”. Należy zwrócić tutaj uwagę na niekompletność tej formy oraz brak potwierdzenia spełnienia zadanej mechanizmowi funkcji. Porównawcze metody stosowania antywzorców do oceny jakości konstrukcji można więc stosować jedynie w formie dodatkowej, pośredniej analizy.

W kontekście tradycyjnego procesu projektowania części mechanicznych, główną korzyścią wynikającą ze zdefiniowania dodatkowej, negatywnej referencji jakości (antywzorców) jest umożliwienie podjęcia wcześniejszej decyzji o zmianie rozwiązania konstrukcyjnego ze względu na jego niedopasowanie do wymagań jakościowych.

W przypadku w pełni zautomatyzowanych procesów projektowania maszyn, modele oceny jakości oparte o antywzorce znacznie poszerzają zakres wygenerowanych, możliwych do oceny rozwiązań. Algorytmy komputerowe, zamiast naśladować zaprojektowane przez człowieka wzorcowe rozwiązanie, mogą generować dowolne reprezentacje konstrukcji, których jakość może zostać zgrubnie oszacowana poprzez porównanie ich do antywzorców. Pozwala to na stworzenie mechanizmu eliminującego błędne koncepcje mechanizmów, jeszcze przed stworzeniem pełnego modelu fizycznego i przeprowadzeniem kompleksowych symulacji. Charakter proponowanej metody oceny jakości konstrukcji mechanicznych pozwala na znaczną redukcję ilości komputerowych obliczeń wymaganych do wykrycia znanych błędów w częściach maszyn.

Koncepcja antywzorców pozwala na zgrupowanie części wiedzy eksperckiej, wykorzystywanej do manualnej oceny konstrukcji i wskazanie znanych projektantowi błędów występujących w konstrukcjach mechanicznych. Dotyczy to zarówno wiedzy ogólnej, mechanicznej, konstruktorskiej, jak i wiedzy specyficznej dla rodzaju ocenianego rozwiązania.

Stworzona metoda oceny jakości z użyciem antywzorców (rozdz. 6) replikuje ten proces w środowisku komputerowym, obliczając podobieństwo opisu części testowanego mechanizmu do zbioru symbolicznych opisów konstrukcji definiujących znane, powtarzalne i nietrywialne błędy.



## Rozdział 5

# Metoda symbolicznego zapisu cech konstrukcji

Aby zmaksymalizować przystępność projektowanego języka zapisu, zminimalizowana została liczba słów kluczowych, ograniczono reprezentację do obiektowego paradygmatu programistycznego oraz wprowadzono szereg innych uproszczeń (np. mapowanie wartości, zasady spójności) [95]. Prowadzone prace, oparte zostały o dobre praktyki (np. wsparcie rekursywnych parserów, sposób definicji i użycia symboli i identyfikatorów, parsowania XML) tworzenia symbolicznych języków domenowych [96].

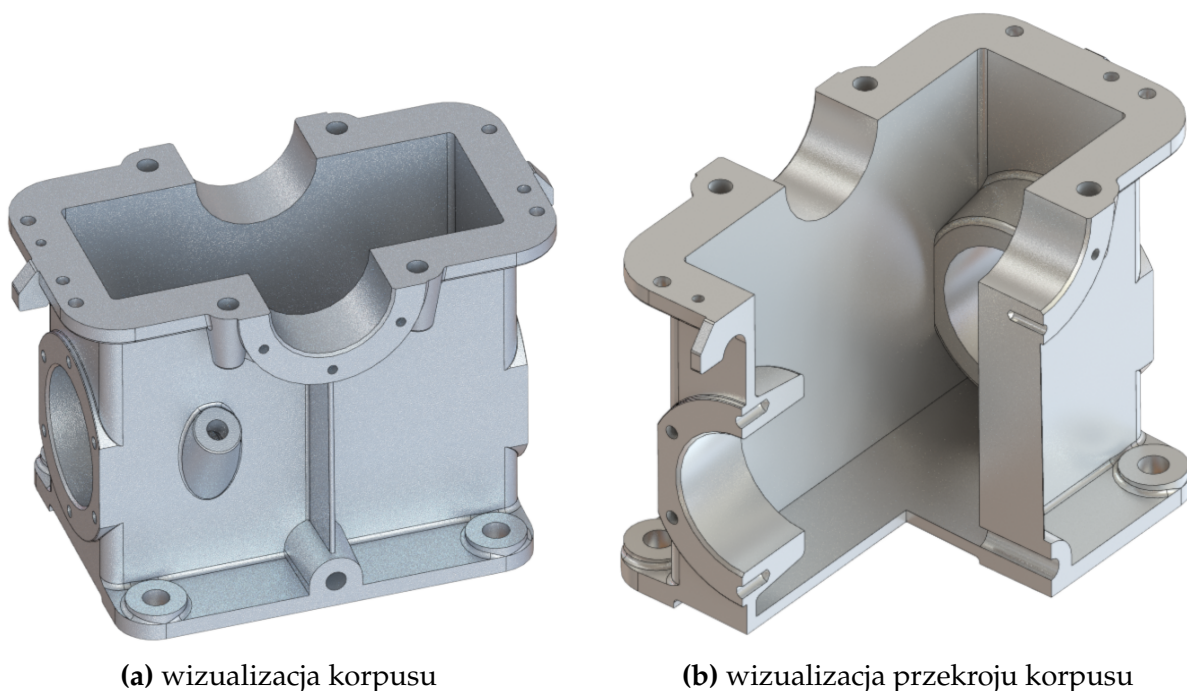
Tradycyjnie, definiowanie języków domenowych rozpoczyna się od zdefiniowania ich składni. Nowatorskie trendy [28] wskazują jednak na potrzebę rozpoczęcia od fundamentalnej analizy przestrzeni semantycznej wybranej domeny wiedzy, co pozwala na stworzenie bardziej spójnych i rozszerzalnych struktur językowych (np. składni). Na podstawie analizy domeny (reprezentacji antywzorców - rozdz. 4) można wskazać kluczowe elementy projektowanego języka - utrzymanie wysokiego poziomu kompozycyjności<sup>1</sup> i modularności<sup>2</sup> zapisu, która nie będzie tworzyć nadmiernych, syntetycznych form opisowych.

Główne wyzwania występujące w trakcie normalizacji cech konstrukcji mechanicznych wynikają z natury rysunku technicznego. Został on zaprojektowany do użytku i interpretacji przez przeszkolonego człowieka, co sprawia szereg problemów w analizie komputerowej. Wynikają one ze zmienności stylu i szeregu wizualnych nieregularności: obrotów, widoczności, pozycjonowania i formatów opisów. Inny zestaw problemów z symboliczną reprezentacją opisu konstrukcji na potrzeby badań, zawierają istniejące formaty zapisów konstrukcji. Brakuje jednolitego standardu reprezentacji nie tylko konstrukcji, ale także prostych obiektów 3D. Standardy takie jak ISO 10303 STEP, ECMA-363, DXF dostarczają szeregu struktur zaprojektowanych na potrzeby wizuali-

---

<sup>1</sup>możliwości tworzenia kompozycji zapisów, danych

<sup>2</sup>możliwości rozdzielania i łączenia podstawowych elementów języka



(a) wizualizacja korpusu

(b) wizualizacja przekroju korpusu

**Rysunek 5.1:** Wizualizacja komputerowej reprezentacji korpusu

zacji oraz produkcji części mechanicznych ale nie ich automatycznej analizy. W sposób oczywisty, istniejące standardy pozwalają na tworzenie i są powszechnie używane do dwuwymiarowej wizualizacji trójwymiarowych konstrukcji (rys. 5.1), animacji oraz symulacji wektorowych w przestrzeni wirtualnej. Mimo tego, obecnie stosowane formaty symbolicznej reprezentacji konstrukcji nie odzwierciedlają i nie definiują struktury i wzajemnego wpływu kluczowych cech konstrukcyjnych.

W ramach opracowanej metody stosowania antywzorców, użyto stworzonego symbolicznego języka KXML. Buduje on opis konstrukcji na funkcjach elementów, wartości cech konstrukcyjnych oraz strukturze i kontekście użycia poszczególnych informacji. Symboliczny, zorientowany obiektowo język zapisu cech konstrukcji KXML pozwala na przeprowadzenie dekompozycji struktury konstrukcji mechanicznej w sposób ułatwiający proces normalizacji danych na potrzeby dalszych obliczeń. Do reprezentacji składni symbolicznego języka, jako wyjściową notację przyjęto XML. Wynika to z dużej popularności standardu, jego modularności i łatwości w definiowaniu pochodnych języków domenowych. Możliwe jest jednak użycie wielu z innych powszechnie dostępnych notacji zapisu danych (np. JSON), wspierających podstawowe elementy wymagane do zdefiniowania zapisu obiektowego (identyfikatory, właściwości, obiekty).

KXML został zaprojektowany z myślą o syntetycznej reprezentacji struktur elementów maszyn, umożliwiającej dekompozycję konstrukcji na części składowe - na podstawie realizowanej przez nie funkcji. Modyfikatorami rozszerzającymi zakres infor-

macji zapisanych w tak wyznaczonych węzłach strukturalnych, są atrybuty obiektów ułatwiające analizę wspólnych grup cech konstrukcyjnych.

```

1 <struct class="wał" id="s001">
2 <model class="mechaniczny">
3 <feature id="średnica" unit="mm"/>
4 <feature id="długość" unit="mm"/>
5 <feature id="kąt" unit="deg" vector="(0,0,1)"/>
6 <node class="trzcień" id="p001">
7 <feature id="długość">48</feature>
8 <feature id="średnica">35</feature>
9 <node class="faza">
10 <feature id="długość">12</feature>
11 <feature id="kąt">45</feature>
12 </node>
13 <node class="gwint">
14 <feature id="długość">24</feature>
15 </node>
16 <node class="podcięcie">
17 <feature id="promień">8</feature>
18 <feature id="średnica">8</feature>
19 </node>
20 </node>
21 </model>
22 </struct>

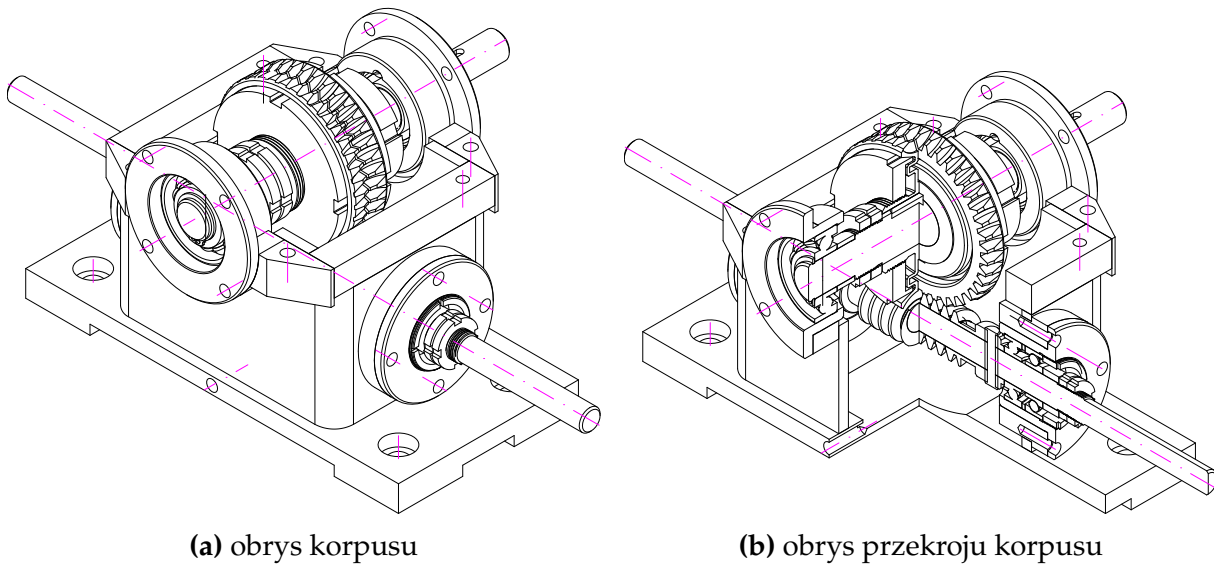
```

**Listing 5.1:** Przykład zapisu KXML prezentujący ogólną strukturę języka

Oparcie struktury węzłów na klasie funkcji spełnianej przez konkretny element struktury, pozwala na wnioskowanie na temat jej poprawności [121]. Wynika to z bezpośredniego powiązania skutków realizacji tej funkcji z konkretnymi wartościami cech oraz ich umiejscowienia w strukturze opisu konstrukcji.

W odróżnieniu od reprezentacji wyłącznie wizualnej (rys. 5.2), wymagającej szeregu widoków (notacji symbolów wizualnych) w formie: rysunków poglądowych, strukturalnych, wybranych wizualizacji przekrojowych, lub specjalizowanych do konkretnych procesów (rys. 5.3), przyjęta metodologia tworzenia i klasyfikacji mechanizmów oparta jest o identyfikację funkcji obiektu na podstawie jego struktury. Wynika to z założenia, że kauzalizm konstrukcji wynika z jej struktury oraz może być odnaleziony w opisie (jeżeli jest on bezpośredni i reprezentatywny).

Zakładając maksymalne możliwości analizy danych reprezentowanych przez symboliczny zapis KXML (list. 5.1), instancje cech konstrukcji (jako kluczowe wartości w zapisie) analizowane są w kontekście: konkretnego modelu klasyfikacyjnego, ich



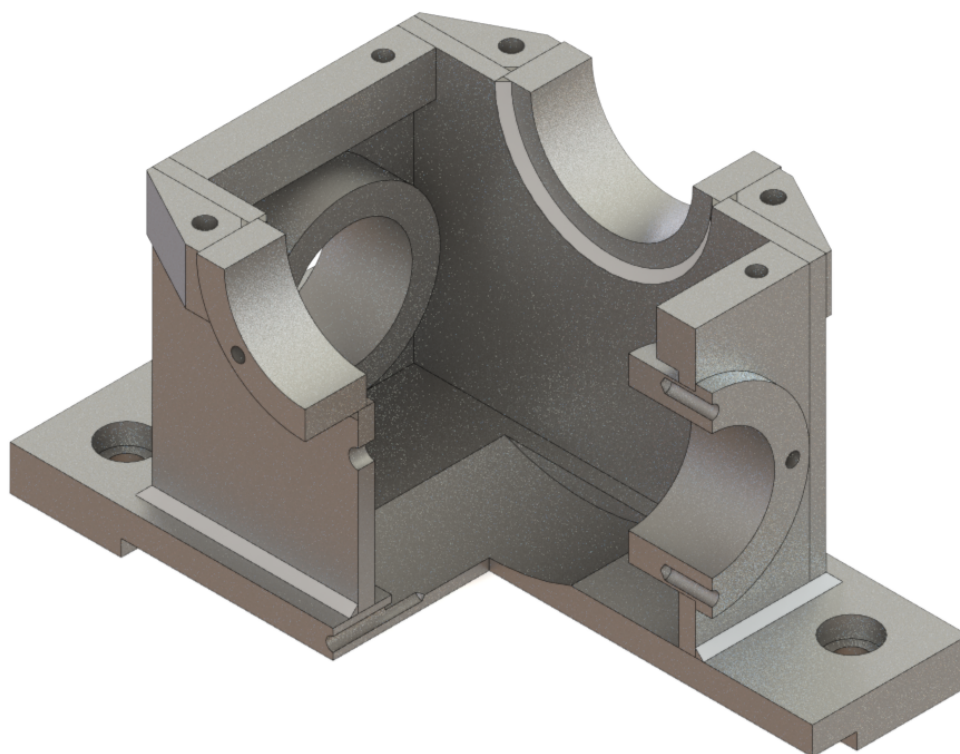
**Rysunek 5.2:** Komputerowy obrys reprezentacji projektu przekładni ślimakowej [60]

otoczenia i pozycji w identyfikowanej leksykalnie strukturze węzłów. Stworzony symboliczny opis cech konstrukcji, został zaprojektowany ze szczególnym uwzględnieniem obiektowych technik reprezentujących zarówno cechy jak i definiujących strukturę konstrukcji. Ma to na celu umożliwić wykorzystanie algorytmów pozwalających na analizę struktury konstrukcji. Relacje występujące pomiędzy obiektami elementarnymi a ich właściwościami tworzą zbiór drzew danych - połączonych ze sobą instancjami poszczególnych węzłów.

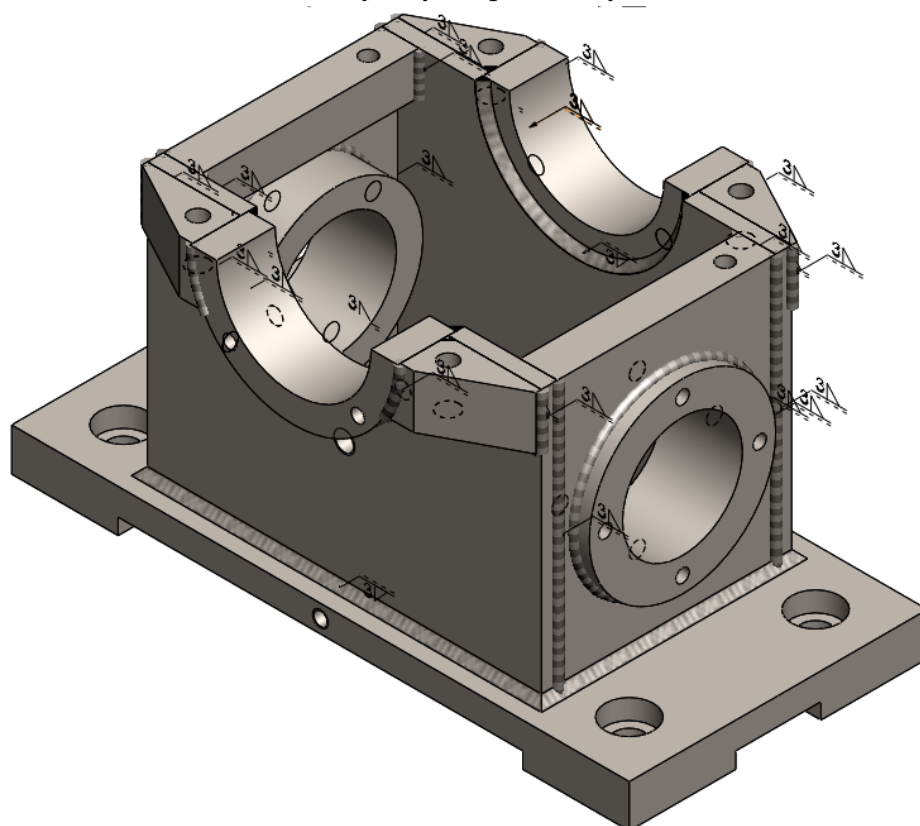
Przy definiowaniu podstawowych założeń zapisu, dążono do maksymalizacji jego dosłowności poprzez minimalizację ilości utworzonych elementów składni oraz zdefiniowania słów kluczowych jako charakterystycznych i krótkich form leksykalnych.

Innym kluczowym celem stawianym opisywanemu systemowi zapisu, jest umożliwienie spójnej reprezentacji danych niekompletnie opisujących konstrukcje mechaniczne. Cel ten został wyznaczony aby porównać możliwości wynikające z wykorzystania metod numerycznych pozwalających na wnioskowanie w warunkach dużej niepewności danych (np. sieci neuronowych).

Istniejące informatyczne formaty reprezentacji danych, często są przeznaczone do przetwarzania danych projektowych w kontekście ich wizualizacji lub konkretnych procesów produkcyjnych. Oba z tych zastosowań wymagają oraz w pewnym sensie preferują dokładną i precyzyjną definicję danych. Ze względu na istnienie pośredniej warstwy programowej, ich reprezentacja binarna znacznie odbiega od fundamentalnej struktury konstrukcji. Obecne formaty przetwarzania danych konstrukcyjnych zawierają również głęboką integrację z konkretnymi rozwiązaniami informatycznymi. W efekcie oddają one jedynie w niewielkim stopniu obiektowy charakter projektowa-



(a) widok izometryczny korpusu z wyciętą ćwiartką



(b) oznaczenie spoin

Rysunek 5.3: Spawany korpus przekładni ślimakowej

nego elementu i relacji pomiędzy jego dyskretnymi częściami. Uwidacznia się to bezpośrednio w braku czytelności oraz utrudnieniach w analizie, parsowaniu oraz wykorzystaniu ich do obliczeń wykraczających poza standardowe zastosowania.

Stworzenie obiektowego zapisu ułatwia przetwarzanie danych poprzez połączenie abstrakcji konstrukcyjnych i leksykalnych z elementami obiektowego zapisu danych w systemach informatycznych. Oparcie formatu zapisu na obiektowym paradygmacie programistycznym ułatwia naukowe wykorzystanie metod numerycznych (np. sieci Hamminga) na złożonych opisach konstrukcji, bezpośrednio reprezentujących leksykalny opis konstrukcji.

## 5.1 Składnia języka zapisu cech konstrukcji KXML

Symboliczny charakter stworzonego języka zapisu cech konstrukcji wynika z dwóch czynników: uniwersalności podstawowej struktury zapisu oraz abstrakcyjnej definicji elementów opisujących konstrukcje. Rozwiązanie to cechuje się niewielką ilością elementów składni oraz szerokimi możliwościami budowania relacji strukturalnych. Tworzone struktury są bezpośrednim odwzorowaniem informacji używanych przez ludzi do słownego lub graficznego opisu konstrukcji, co jest efektem oparcia badań o leksykalną strukturę dekompozycji części mechanicznych.

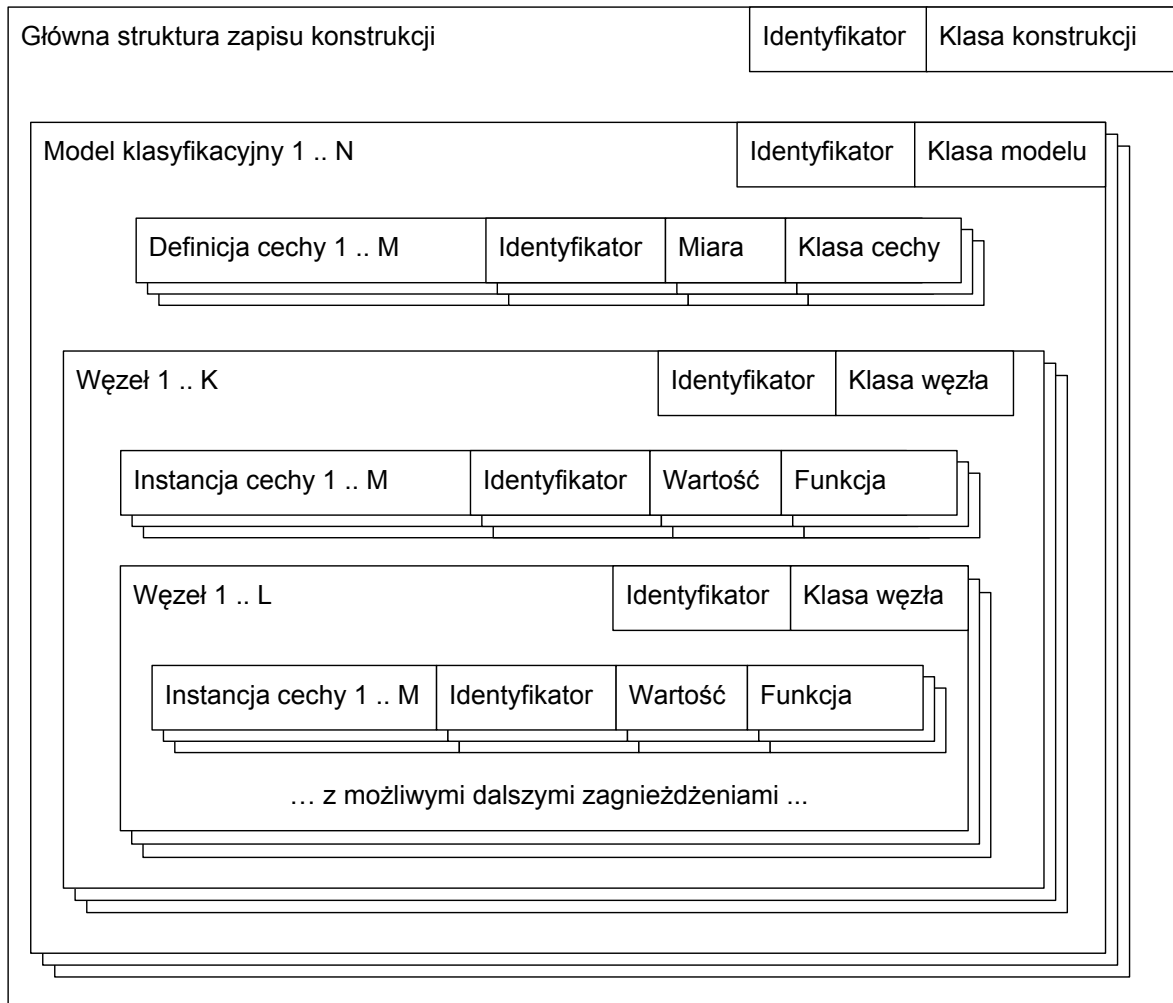
Zaproponowany zapis reprezentacji struktur oparty jest o zastawienie opisów obiektów elementarnych, z nadanym kontekstem klas opartym o referencyjne modele klasyfikacyjne. W ramach każdego z tych modeli tworzone jest drzewo węzłów, które definiują cechy i zależności strukturalne opisywanego elementu poprzez strukturę zagnieźdzonych węzłów.

Głównym elementem każdego z plików komputerowych zawierających opis konstrukcji w formacie KXML jest element *struct*, który przenosi identyfikator konkretnego obiektu do tego samego formatu co dane, raczej niż być przechowywanym zewnętrznie (np. w nazwie pliku). Element ten pozwala również na przypisanie konstrukcji, dodatkowych informacji o jej klasie w atrybucie *class*.

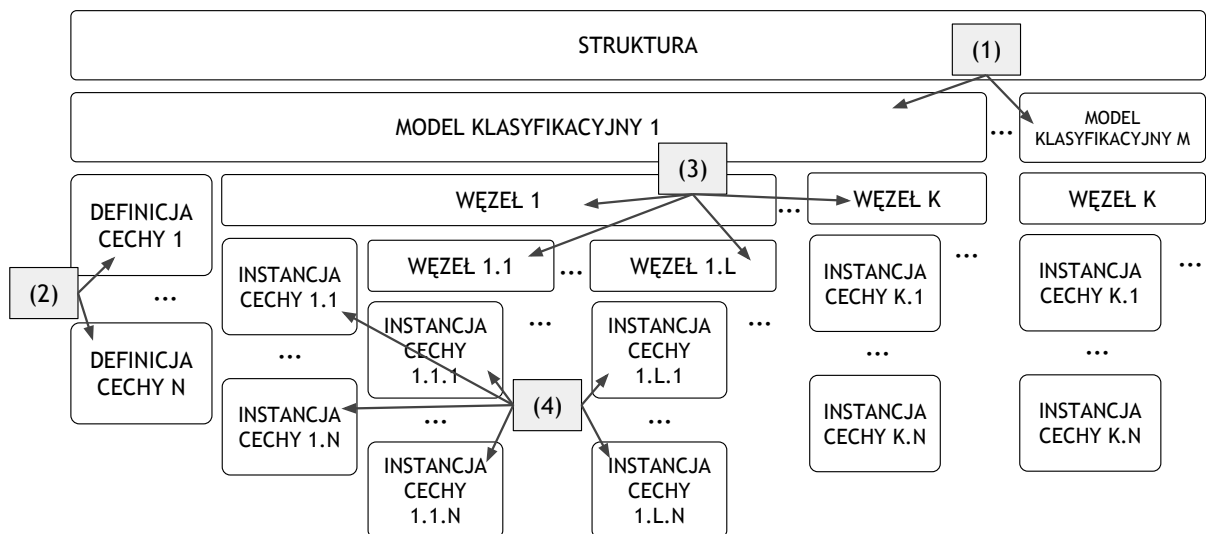
```
1 <struct class="wał" id="s001"> ... </struct>
```

Do stworzenia kompletnego opisu konstrukcji z użyciem symbolicznego, zorientowanego obiektowo języka opisu cech konstrukcji KXML należy użyć złożenia czterech elementów (rys. 5.4, 5.5):





Rysunek 5.4: Schemat struktury symbolicznego zapisu cech konstrukcji



Rysunek 5.5: Schemat elementów symbolicznego zapisu cech konstrukcji

1. modelu klasyfikacyjnego - dostarczającego kontekstu analizy i interpretacji cech i węzłów strukturalnych;

```
1 <model class="mechaniczny"> ... </model>
```

2. definicji cech konstrukcyjnych - wyznaczających strukturę danych używanych do opisu właściwości konstrukcji;

```
1 <feature id="R" unit="mm" />
2 <feature id="α" unit="kąt" vector="(0,1,0)" />
```

**Listing 5.2:** Definicje przykładowych cech elementów konstrukcji

3. instancji węzłów i ich struktury - jawnie reprezentującej dekompozycję konstrukcji na podstawie funkcji obiektu;
4. instancji cech konstrukcyjnych - zawierających wartości (lub funkcje matematyczne pozwalające je obliczyć) do oceny podobieństwa konstrukcji; rozmieszczone są one w kontekście struktury węzłów.

```
1 <node class="stopień" id="p001">
2   <feature id="l">48</feature>
3   <feature id="d">35</feature>
4   <node class="frez">
5     <feature id="l">12</feature>
6     <feature id="α">45</feature>
7   </node>
8   <node class="gwint">
9     <feature id="l">24</feature>
10  </node>
11  <node class="podcięcie">
12    <feature id="R">8</feature>
13    <feature id="d">8</feature>
14  </node>
15 </node>
```

**Listing 5.3:** Przykładowa struktura stopnia wału

Listing ten można przedstawić słownie w następującej formie: zdefiniuj stopień wału o identyfikatorze  $p001$  i 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.

Aby umożliwić użycie biblioteki z wcześniej zdefiniowanymi strukturami, zapis ten może być użyty w dwóch kontekstach: jako szablon struktury, lub konkretny opis konstrukcji. Różnica pomiędzy nimi może być zaobserwowana poprzez sprawdzenie czy wszystkie z cech (wymaganych przez założony model analityczny) posiadają przypisane im odpowiednie wartości. Zawarte w zapisie możliwości kompozycji i dziedziczenia mają na celu zwiększenie jakości późniejszej analizy i przetwarzania poprzez dostarczenie jak najbardziej elastycznych metod przedstawiania relacji strukturalnych.

### 5.1.1 Słowa kluczowe

Każde ze słów kluczowych użytych w języku może być interpretowane zarówno strukturalnie jak i w kontekście określonej funkcji realizowanej przez obiekt elementarny:

- *struct* - element języka KXML definiujący kontener dla konkretnej instancji struktury lub jej szablonu; zawarcie wielu elementów *struct* w jednym pliku KXML jest dopuszczalne - aby ułatwić tworzenie kolekcji lub wariacji 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 jednego elementu *struct*;
- *model* - element języka używany do wskazania wybranego modelu klasyfikacji (sposobu interpretacji klas i cech opisujących konstrukcję);
  - *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 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;

- *class* - opcjonalny atrybut umożliwiający dziedziczenie cech konstrukcji oraz kontekstu interpretacji; może być użyty do wprowadzenia wspólnych warstw dostarczających dodatkowych możliwości porównań niejawnych relacji występujących pomiędzy elementami konstrukcji;
- *unit* - atrybut jedynie elementów typu *feature*, który musi być podany w co najmniej jednym z elementów o jednakowej wartości pola *id*; zawiera on jednostkę w której mierzona jest wybrana cecha; możliwe jest wykorzystanie automatycznych przeliczników pomiędzy wartościami (np. milimetry automatycznie przeliczone na metry) lub podanymi w różnych standardach;
- *vector* - opcjonalny atrybut używany dla cech konstrukcyjnych o przypisanym do nich wektorze zwrotu;
- *value* - opcjonalna wartość elementu zawierająca konkretną liczbę lub wyrażenie matematyczne ją wyznaczające; reprezentuje ona wartość cechy mierzoną w zdefiniowanej jednostce wartości (na poziomie ogólnym lub w tej konkretnej instancji cechy);
- *node* - główny element definiujący strukturę opisu konstrukcji KXML, pozwalający na stworzenie opisu zawierającego jawną hierarchię elementów w ramach jednego modelu, który umożliwia zróżnicowanie typów relacji występujących pomiędzy węzłami oraz wskazanie ukrytych relacji w modelu;
  - *id* - opcjonalny atrybut identyfikujący i umożliwiający odniesienia do węzłów strukturalnych, wartości cech konstrukcji oraz tworzenia szablonów;
  - *class* - wymagany atrybut definiujący sposób interpretacji węzła lub relacje pomiędzy obiektami elementarnymi realizującymi konkretne funkcje.

Możliwość użycia wartości cechy w zapisie konstrukcji, który ma zostać użyty do dalszej analizy numerycznej, wynika z jej identyfikacji formalną metodą naukową. Definiowanie cech (np. długość, grubość, chropowatość, pochylenie odlewnicze) należy wykonać w ramach wybranego modelu klasyfikacji i jego kontekstu interpretacji. Należy nadmienić, że możliwa i oczekiwana jest duplikacja zakresów informacji zawartych w cechach zdefiniowanych w różnych modelach oraz możliwe są znaczne różnice w ich definicjach typu i jednostki. Oznacza to, że końcowa struktura jest kombinacją wszystkich drzew węzłów zdefiniowanych w modelach klasyfikacji, które w połączeniu tworzą graf wartości i relacji opisujących konstrukcję.

### 5.1.2 Modele klasyfikacyjne

Na najwyższym poziomie struktury zapisu, pozwalającej na przypisanie jej konkretnego modelu analizy, zdefiniowane zostały elementy identyfikujące konkretny model klasyfikacji opisywanej struktury i cech konstrukcyjnych. Pozwala on na przyjęcie podstawowych założeń (np. nazewnictwa klas, jednostek miary), dostarczających kontekstu interpretacyjnego zapisanym informacjom. Oznacza to, że o ile podmiotem zapisanych danych są instancje węzłów i ich cech, to model definiuje właściwości oraz kontekst na potrzeby interpretacji danych.

Zastosowanie unikalnie identyfikowalnego modelu pozwala również na tworzenie wcześniej zdefiniowanych typów relacji zachodzących pomiędzy obiektami elementarnymi umieszczonymi w zapisie (rozdz. 5.1.5). Obecność abstrakcyjnej definicji modelu klasyfikacyjnego, pozwala na powiązanie instancji węzłów strukturalnych z wielu modeli i wielowymiarową interpretację poszczególnych instancji cech konstrukcji. Możliwe jest to poprzez wskazanie elementów konstrukcji, koncepcyjnie tożsamy, jednak użytych i opisanych w ramach różnych modeli klasyfikacji i reprezentacji cech konstrukcji.

Jedną z głównych zalet płynących z użycia informacji o modelu klasyfikacyjnym, jest możliwość powiązania go z konkretnym, istniejącym referencyjnym modelem obliczeniowym. Możliwe jest również tworzenie dowolnie dookreślonych modeli na potrzeby przyjętych wymagań, standardów czy zakresu badań. Powiązanie struktury węzłów i cech z predefiniowanym modelem, poza konkretyzacją zakresów analizy i interpretacji danych, pozwala na zdefiniowanie biblioteki modeli zawierającej referencyjne definicje cech części maszyn. Przy analizie jakościowej elementów maszyn z użyciem antywzorców, istnienie tego typu biblioteki referencyjnych elementów jest wymagane. W tym kontekście, czynnikami wzbogacającymi analizę poprzez zastosowanie modeli klasyfikacyjnych są:

- możliwość wspólnej interpretacji definicji cech konstrukcyjnych z wielu konstrukcji używających tego samego modelu,
- możliwość wspólnej interpretacji struktury węzłów i ułatwienie wykrywania powtarzających się schematów danych konstrukcyjnych.

### 5.1.3 Typy danych

Głównym elementem składni języka definiującym kontekst, sposób interpretacji, przetwarzania oraz użycia, jest *feature* - w definicji określający techniki parsowania wartości instancji elementu KXML o identycznym identyfikatorze (*id*). Do prawidłowej interpretacji wartości przypisanej konkretnej instancji cechy, należy uwzględnić zarówno

zdefiniowaną dla jej definicji jednostkę jak i przypisaną jej klasę. Dodatkowe definicje typów danych wynikają z zastosowania formatu XML, jako symbolicznej podstawy użytej do sformatowania danych konstrukcji.

### 5.1.4 Klasy i instancje

Atrybut *class* pozwala na tworzenie abstrakcyjnych relacji dziedziczenia pomiędzy poszczególnymi cechami oraz węzłami. Umożliwia to stworzenia cech współdzielących klasę obiektu elementarnego, które można wykorzystywać w formie szablonów lub danych referencyjnych (np. antywzorców).

Dalszy rozwój metody zapisu struktury może być wsparty definiowaniem własnych leksykalnych struktur klas oraz badaniu strukturalnych relacji występujących pomiędzy elementami o zbliżonej funkcji i konstrukcji. Podobnie jak w przypadku rysunkowych bibliotek rozwiązań konstrukcyjnych, możliwe jest gromadzenie wiedzy w formie opisów cech konstrukcji i znanych rozwiązań pozwalających na przyspieszenie interpretacji kauzalizmu konstrukcji mechanicznej.

Struktura węzłów utworzona dla każdego z modeli, pozwala jedynie na jednorazowe umieszczenie w jej ramach węzła o konkretnym identyfikatorze. Identyfikatory muszą być unikalne w zakresie danego modelu klasyfikacyjnego, lub nadane automatycznie. Powtórzenie identyfikatorów w oddzielnych modelach, uznawane jest za ich tożsamość w ramach danej konstrukcji. O ile węzły w modelu tworzą struktury drzewiaste, to uwzględnienie relacji stworzonych przy pomocy identyfikatorów - łączy je w jeden skierowany graf.

```
1 <model class="mechaniczny">
2   <feature id="l" unit="m" />
3   <feature id="d" unit="m" />
4   <node id="p1" class="trzcina">
5     <feature id="l">0.48</feature>
6     <feature id="d">0.15</feature>
7     <node class="faza" id="p1a">
8       <feature id="l">p1.l/8</feature>
9     </node>
10  </node>
11 </model>
```

Listing 5.4: Identyfikatory instancji w KXML

Atrybut *id* użyty w elemencie cechy powinien występować w ramach tego samego modelu jako wskazanie jednolitej definicji konkretnej cechy, której wartości wskazwane są w poszczególnych węzłach. Ta jednolita definicja pozwala na jednoznaczne

porównywanie ze sobą różnych struktur (opisanych z użyciem tych samych modeli) i ujednoczone przetwarzanie numeryczne.

Zapisane wartości cech konstrukcyjnych często przyjmować będą formę tekstową i mogą zawierać odniesienia do innych elementów konstrukcji lub tworzyć funkcje numeryczne. Unikalne identyfikatory i ich użycie w węzłach do ustalenia tożsamości węzłów konstrukcji, pozwalają na ich zapis w formie odniesień do wartości cech z innych fragmentów zapisu. Użycie jednakowej wartości atrybutu *id* w węźle konstrukcji w ramach różnych modeli oznacza ich tożsamość.

```
1 <model class="mechaniczny">
2   <feature id="d" unit="m" />
3   <node class="trzcień" id="p1">
4     <feature id="d">0.15</feature>
5   </node>
6 </model>
7 <model class="geometryczny">
8   <feature id="S" unit="m^2" />
9   <node class="walec" id="p1">
10    <feature id="S">PI*(p1.d/2)^2</feature>
11  </node>
12 </model>
```

**Listing 5.5:** Użycie identyfikatorów w wielu modelach KXML

Powyższy przykład wskazuje jak ten sam węzeł (o identyfikatorze *p1*) ma różne cechy (*d* i *S*) zdefiniowane w oddzielnych modelach struktury. Ze względu na użycie jednakowego identyfikatora, oba węzły w strukturze powinny być interpretowane jako ten sam obiekt elementarny. Istnieje również ukryta w funkcji elementu, niejawna relacja występująca pomiędzy modelami, która również odnosi się do identyfikatora węzła i cechy z innego modelu klasyfikacyjnego.

Użycie wartości atrybutu *id* w atrybucie *class* elementu języka, interpretowane jest jako dziedziczenie i dostarcza metodę tworzenia biblioteki cech i węzłów. Dodatkowo, użycie tego typu relacji pozwala na zdefiniowanie niejawnych informacji opisujących konstrukcje. Wynika to z możliwości uzupełniania kontekstu informacyjnego w trakcie normalizacji - np. wskazując właściwe cechy, które należy zdefiniować dla danej klasy obiektów elementarnych. 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 i funkcjonującej jedynie w formie tekstowej) nie wiąże się żadna dodatkowa wartość poznawcza.

Aby zapewnić adekwatny zakres i język reprezentacji symbolicznej (używanych definicji, praktyk, miar i formatów), do opisu konstrukcji przyjmuje się referencyjne

modele klasyfikacyjne. Zwiększa to spójność danych, i pozwala na przeniesienie charakteru leksykalnego i kontekstu informacyjnego definiowanych nazw klas na potrzeby analizy numerycznej.

Aby uzyskać bardziej kompletny opis relacji pomiędzy węzłami opisu konstrukcji, możliwe jest tworzenie 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  $m$  występujących w tej samej konstrukcji) lub referencjami wartości (np. wartość cechy  $m.1.c1$  jest obliczona na podstawie wartości cechy  $n.1.c2$ ).

```
1 <model class="mechaniczny">
2   <feature id="l" unit="mm" />
3   <feature id="R" unit="mm" />
4   <feature id="d" unit="mm" />
5   <node class="trzpień" id="p1">
6     <feature id="l">48</feature>
7     <feature id="d">35</feature>
8     <node class="faza">
9       <feature id="l">12</feature>
10    </node>
11    <node class="gwint">
12      <feature id="l">24</feature>
13    </node>
14    <node class="podcięcie">
15      <feature id="R">8</feature>
16      <feature id="d">8</feature>
17    </node>
18  </node>
19 </model>
```

**Listing 5.6:** Współdzielenie definicji cech w ramach jednego modelu

Każde z odniesień do cechy konstrukcyjnej (np.  $l$  - długość mierzona w milimetrach), niezależnie od poziomu zagnieżdżenia, używa tej samej definicji cechy wskazanej jednorazowo dla modelu. Dopiero instancje tej cechy, umieszczone w kontekście konkretnych węzłów struktury, wskazują jej wartość. Dla uniknięcia każdorazowego definiowania pełnego zakresu cech konstrukcyjnych, możliwe jest stosowanie szablonów elementów *model*, które definiowałyby całość lub większość z cech, których można użyć do opisu konstrukcji. W pewnym zakresie zaspokaja to potrzebę ujednoczenia definicji struktury porównywanych konstrukcji, poprzez stworzenie kompletnego, niezmiennego zbioru cech je opisujących.

Każda z definicji węzła, niezależnie od jej poziomu zagnieżdżenia w którymkolwiek z modeli, może posiadać identyczny identyfikator (atrybut *id*) wiążący ją z innym węzłem tej samej konstrukcji.

```

1 <model class="mechaniczny">
2   <feature id="l" unit="mm" />
3   <feature id="d" unit="mm" />
4   <node class="trzczeń" id="p1">
5     <feature id="l">48</feature>
6     <feature id="d">35</feature>
7   </node>
8 </model>
9 <model class="elektryczny">
10  <feature id="ρ" unit="Ω*m" />
11  <node class="przewód" id="p1">
12    <feature id="ρ">10E-8</feature>
13  </node>
14 </model>

```

**Listing 5.7:** Współdzielenie informacji o tożsamości węzła pomiędzy modelami

Niektóre z różnic występujących pomiędzy cechami tej samej klasy z różnych modeli (np. jednostki miar) wymagają uwzględnienia kontekstu zdefiniowanego w elemencie *model* do właściwej interpretacji zawartej w instancji cechy wartości. Pozwala to jednocześnie na tworzenie kompozycji modeli o kompatybilnych ze sobą definicjach cech konstrukcyjnych i sposobie ich analizy oraz interpretacji.

```

1 <struct class="wał" id="s1">
2   <model class="geometryczny">
3     <feature id="S" unit="m^2" />
4     <feature id="V" unit="m^3" />
5     <node class="walec" id="p1">
6       <feature id="S">PI*(p1.d/2)^2</feature>
7       <feature id="V">p1.S*p1.l</feature>
8     </node>
9   </model>
10  <model class="mechaniczny">
11    <feature id="l" unit="mm" />
12    <feature id="d" unit="mm" />
13    <node class="trzczeń" id="p1">
14      <feature id="l">48</feature>
15      <feature id="d">35</feature>
16    </node>
17  </model>

```

```

18 <model class="elektryczny">
19   <feature id="ρ" unit="Ω*m" />
20   <feature id="R" unit="Ω" />
21   <node class="przewód" id="p1">
22     <feature id="ρ">10E-8</feature>
23     <feature id="R">ρ*p1.l/p1.S</feature>
24   </node>
25 </model>
26 </struct>

```

**Listing 5.8:** Integracja wartości cech z różnych modeli klasyfikacyjnych

Ze względu na potrzebę normalizacji i automatycznego przetwarzania danych, dopuszczalny jest zapis wartości cech w formie symbolicznych funkcji matematycznych. Pozwala to na stworzenie niejawnych powiązań pomiędzy wartościami cech konstrukcji, nawet jeśli znajdują się one w różnych modelach klasyfikacyjnych.

```

1 <struct id="s1">
2   <model class="mechaniczny">
3     <feature id="l" unit="mm" />
4     <feature id="d" unit="mm" />
5     <node class="trzcina" id="p1">
6       <feature id="l">88</feature>
7       <feature id="d">15</feature>
8     </node>
9   </model>
10 </struct>
11
12 <struct id="s2">
13   <model class="mechaniczny">
14     <feature id="l" unit="mm" />
15     <feature id="d" unit="mm" />
16     <node class="trzcina" id="p2">
17       <feature id="l">8</feature>
18       <feature id="d">32</feature>
19     </node>
20   </model>
21 </struct>

```

**Listing 5.9:** Zapis dwóch struktur o różnych wartościach jednakowych cech

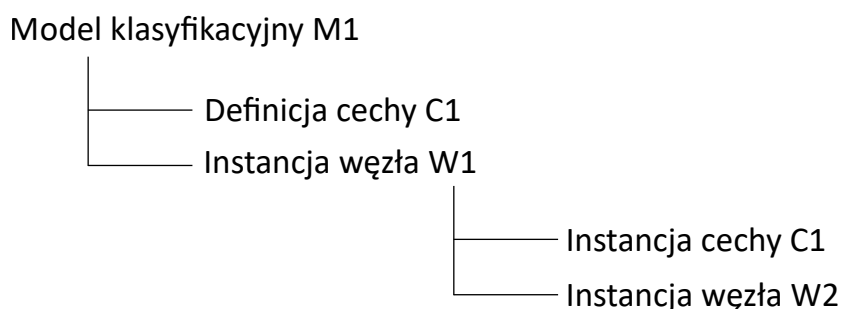
Zawarte w języku mechanizmy definicji, instancji, klas oraz identyfikatorów, mają na celu umożliwienie stworzenia elastycznej, leksykalnej płaszczyzny danych pozwalającej na porównywanie ze sobą konstrukcji o różnych wartościach jednakowych lub



zbliżonych cech. Użycie technik wywodzących się z programowania obiektowego, wydaje się słuszną decyzją ze względu na powstającą strukturę dekompozycji konstrukcji oraz możliwość kompleksowej reprezentacji relacji pomiędzy elementami opisu.

### 5.1.5 Typy relacji w języku KXML

Symboliczny, zorientowany obiektowo język opisu cech konstrukcji KXML, pozwala na opis jawnych i niejawnych relacji występujących pomiędzy danymi w nim zawartymi. Dostępne w języku relacje leksykalne, pozwalają między innymi na reprezentację relacji geometrycznych i strukturalnych (wskazanych w rozdz. 3.5) wymaganych do opisu podstawowych parametrów konstrukcji mechanicznej.



**Rysunek 5.6:** Relacje strukturalne KXML (typ A)

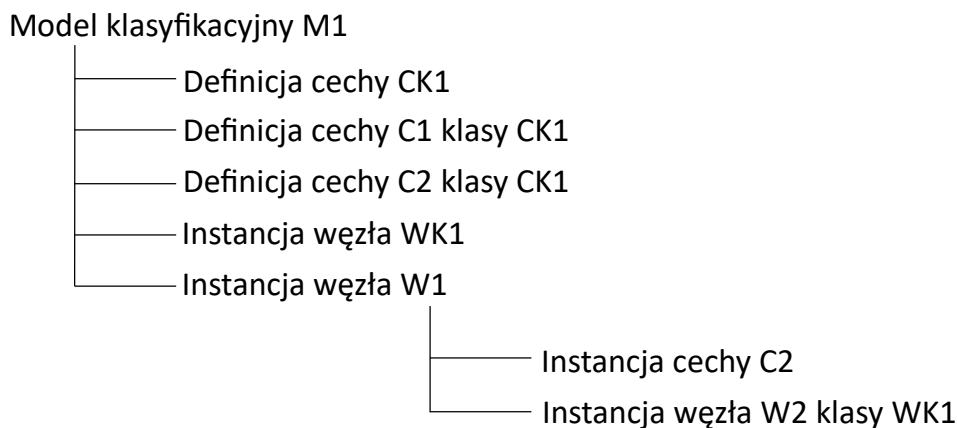
Podstawowa struktura dekompozycji oraz identyfikacji cech i węzłów konstrukcji, możliwa jest dzięki relacjom typu A (rys. 5.6): zagnieżdżeniom struktury oraz enkapsulacji definicji cech. Specyficzne dla KXML reguły interpretacji poszczególnych elementów struktury zapisu, pozwalają na:

- nadawanie kontekstu interpretacji węzłom reprezentującym części konstrukcji;
- reprezentację konkretnych i abstrakcyjnych obiektów elementarnych;
- tworzenie stałej hierarchii zależności pomiędzy funkcjami mechanizmu;
- definiowanie wspólnych definicji cech konstrukcyjnych i krzyżowych referencji.

Poprzez rozszerzenie tak zdefiniowanej struktury zapisu o możliwość definiowania klas (opcjonalnie współdzielonych pomiędzy zarówno cechami jak i węzłami), utworzone zostały relacje typu B (rys. 5.7). Pozwalają one na:

- usystematyzowaną interpretację wartości przypisanych do poszczególnych elementów konstrukcji;

- tworzenie kontekstów przypisanych do wybranych zwrotów leksykalnych (np. korpus przekładni ślimakowej) pozwalającej na uproszczoną reprezentację funkcji przypisanej do części mechanicznej;
- definiowanie filtrów zawężających kontekst analizy danych opisu.



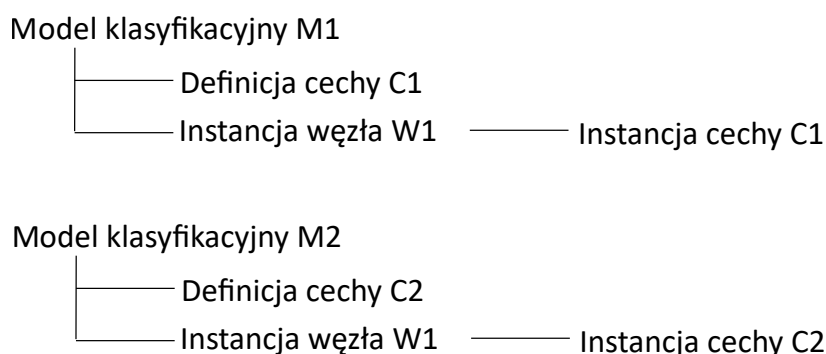
**Rysunek 5.7:** Relacje dziedziczenia w KXML (typ B)

Mechanizm dziedziczenia oparty jest o konwencję zdefiniowaną dla identyfikatorów i nazw klas elementów. Wskazując klasę cechy konstrukcji (np. *CK1*), wiążemy ją z inną, bardziej szczegółową cechą o tym identyfikatorze (np. *C1* i *C2*). Podobny mechanizm został stworzony dla węzłów, gdzie możliwe jest użycie wartości identyfikatora (np. *WK1*) do wskazania klasy innego węzła (np. *W2*).

Rozdzielenie kontekstów interpretacyjnych w formie elementów typu *model* umożliwia tworzenie relacji tożsamości w ramach definicji cech konstrukcji. Oznacza to, że nawet gdyby identyfikatory elementów typu *feature* posiadały taką samą wartość, to umieszczenie ich w ramach różnych modeli, trwale i całkowicie rozdziela konteksty interpretacji tych cech. Sytuacja odwrotna zachodzi w przypadku identyfikatorów węzłów (elementów typu *node*) dla których wskazanie jednakowych identyfikatorów, oznacza tożsamość obiektu elementarnego (np. *W1* na rys. 5.8).

Kolejnym, czwartym typem relacji (typ D) są powiązania niejawne, występujące wewnątrz funkcji przypisanych wartościom cech. Funkcje te, mogą używać mechanizmu identyfikacji poszczególnych elementów zapisu, do odwoływania się do wartości cech przypisanych do innych węzłów. Odnosząc się bezpośrednio do uwzględnienia w zapisie możliwości reprezentacji trzech typów relacji geometryczno-strukturalnych (rozd. 5.1.5):

- relacje typu A pozwalają na definiowanie relacji typu 1 i 2;
- relacje typu C wraz z istnieniem możliwości elementem *struct* umożliwiają wskazywanie relacji typu 3.



Rysunek 5.8: Relacje tożsamości pomiędzy modelami w KXML (typ C)

### 5.1.6 Zapis wyrażeń matematycznych

Wartości cech konstrukcyjnych przedstawione jako funkcje, nawet w przypadku nieprawidłowego bądź braku możliwości ich obliczenia mogą być porównywalne leksykalnie oraz analizowane pod kątem relacji z innymi węzłami lub ich cechami. W przypadku gdy przyjęty zapis funkcji dla wartości cech jest podobny do jednego z wielu istniejących egzemplarzy, można wykonać obliczenia wzajemnego podobieństwa obu elementów, nawet przy braku wartości do obliczenia wyników tych funkcji.

W trakcie porównywania wyników takich obliczeń, należy zwrócić uwagę na jednolitość użytych bibliotek i modeli obliczeniowych. W przypadku obliczeń komputerowych, wyniki działania podstawowych funkcji matematycznych potrafią zwracać różne wyniki ze względu na złożoność i ograniczenia cyfrowej reprezentacji danych. W szczególności, warto zwrócić uwagę na potencjalne problemy z kumulacją zaokrągleń oraz zapisem i porównywaniem liczb rzeczywistych.

Wskazane powyżej problemy tworzą potrzebę oparcia analizy na symbolicznym systemie zapisu oraz zdefiniowania jednolitej metody analizy cech konstrukcji mechanicznych. Kluczowym dla obliczenia wartości cech jest wcześniejsze załadowanie do pamięci komputera kompletnej struktury danych. Ułatwia to stworzenie symbolicznej reprezentacji danych w pamięci komputera, bez potrzeby kolejkwania danych.

### 5.1.7 Niekompletność danych

Pomijając możliwe do wyeliminowania błędy (np. w transmisji czy błędy ludzkie), niekompletność danych zdefiniowano jako brak oczekiwanej (w odniesieniu do składni i struktury zapisu) informacji, pozwalającej na jej przetwarzanie w kontekście pozostałych elementów opisu.

Dokonując przeglądu definicji struktury, relacji i wartości zidentyfikowano następujące elementy, których brak powoduje znaczne utrudnienia w spójnej interpretacji

symbolicznego opisu konstrukcji z użyciem języka KXML:

1. braki elementów struktury zapisu - w relacjach typu A,
2. braki definicji klas i kontekstu - w relacjach typu B,
3. braki wartości i odniesień - w relacjach typu D

Należy nadmienić, że możliwe braki w relacjach typu C, nie wprowadzają możliwości zapisu niekompletnych danych. W przypadku braku jakichkolwiek relacji tego typu w całej strukturze (opisanej w kilku modelach), nie można ocenić prawidłowości zapisu tych relacji ze względu ich brak lub na pełną rozdzielność opisów konstrukcji. Możliwe jest mimo wszystko prowadzenie dalszej analizy danych.

Zidentyfikowane, dopuszczalne braki w strukturalnych relacjach typu A:

1. *Brak identyfikatora modelu* - powoduje brak możliwości utworzenia najwyższego poziomu relacji (pomiędzy modelem a definicją cechy oraz instancjami węzłów strukturalnych). Uniemożliwia to poprawną integrację danych zapisanych w oddzielnych modelach oraz użycie ich w formie szablonów ujednociających analizę i upraszczających zapis.
2. *Brak klasy modelu klasyfikacyjnego* - powoduje brak możliwości referencyjnego porównywania struktur opisywanych w ramach modelu. Zakłada się, że identyfikator ten odnosi się również do konkretnego modelu obliczeniowego. Jego brak oznacza więc pełną dowolność, jednorazowość, lub uniwersalność zapisu.
3. *Brak definicji cechy konstrukcyjnej* - oznacza brak wspólnej definicji dla możliwie wielu instancji cech, jednak pozwala na leksykalne powiązanie ze sobą wielu instancji cech wskazujących na tą sama brakującą definicję. Przyjmuje się, że w przypadku braku definicji cechy nie następuje relacja typu A, jednak możliwe jest ograniczone (brakiem opisu formatu) użycie danych zapisanych w wartościach cech oraz pośrednio w funkcjach je obliczających.
4. *Brak instancji cechy konstrukcyjnej* - w przypadku zaobserwowania istnienia zdefiniowanych cech konstrukcyjnych, którym nie są przypisane żadne instancje cech. W takim przypadku można przeprowadzić weryfikację poprawności zapisu poprzez skonfrontowanie listy takich definicji z listą instancji z brakującymi, jawnymi definicjami.
5. *Brak węzłów strukturalnych w modelu* - utworzenie modelu bez zawarcia w nim kompletnego zbioru węzłów strukturalnych. Pozwala jedynie na wcześniejsze zdefiniowanie cech w formie szablonów, jednak brak zagnieżdżonych węzłów oznacza brak jakichkolwiek konkretnych danych w szablonie.

6. *Brak identyfikatora definicji cechy konstrukcyjnej* - w przypadku elementu reprezentującego instancje cechy, nie posiadającego identyfikatora wskazującego na konkretną definicję. Pozostawia to do obliczeń jedynie możliwą wartość (lub funkcję ją obliczającą), której użyteczność bez kontekstu definicji cechy jest obniżona.
7. *Brak wartości instancji cechy konstrukcyjnej* - dla cech nie posiadających przypisanej wartości ani funkcji jej obliczającej, możliwe jest nadal uwzględnienie jej istnienia w prowadzonej analizie (oraz procesach przetwarzania zapisanych konstrukcji).
8. *Węzeł strukturalny bez zawartości* - istnienie pustych elementów zapisu typu *node* może wskazywać na brak danych, jednak nie ma negatywnego wpływu na możliwości prowadzonych obliczeń.

Zidentyfikowane, dopuszczalne braki w strukturalnych relacjach typu B:

1. *Brak identyfikatora definicji cechy dla danej klasy* - w sytuacji gdy w strukturze użyte są klasy cech konstrukcji, które nie zostały zdefiniowane w ramach danego modelu. Możliwe jest nadal stworzenie relacji pomiędzy cechami na podstawie identyfikatora klasy (nawet nie zdefiniowanego wcześniej w modelu).
2. *Brak identyfikatora definicji węzła dla danej klasy* - brak węzła tworzącego definicję klasy węzłów, oprócz braku możliwości identyfikacji powoduje możliwe braki strukturalne w zawartości węzłów danej klasy (np. zawierających instancje cech) co istotnie utrudnia ich dalszą analizę.

Zidentyfikowane, dopuszczalne braki w strukturalnych relacjach typu D:

1. *Brak modelu w odniesieniu zawartym w wartości cechy* - oznacza że wskazany węzeł powinien się znajdować w obecnym modelu, szczególnie gdy nie jest on formalnie dookreślony w opisie.
2. *Brak możliwości odnalezienia węzła strukturalnego* - uznawany jest za błąd w zapisie i uniemożliwia obliczenie wartości przetwarzanej cechy konstrukcyjnej (oraz innych wartości na nią wskazujących).
3. *Brak instancji cechy do której odnosi się funkcja wartości* - podobnie jak w przypadku braku węzła - jest błędem w zapisie, którego istnienie uniemożliwia obliczenie wartości przetwarzanej cechy konstrukcyjnej (oraz innych powiązanych).

Brak wartości przypisanej do konkretnej instancji cechy konstrukcyjnej, uniemożliwia jej użycie w obliczeniach wartości innych cech, lecz pozwala na uwzględnienie jej istnienia w prowadzonej analizie struktury konstrukcji. Zidentyfikowane, dopuszczalne braki w wartościach cech konstrukcyjnych w języku KXML:

1. nieprawidłowe operacje matematyczne, nieznanne operatory oraz błędy wynikające z nieprawidłowej składni wyrażeń matematycznych, inne bezpośrednio związane z użytą notacją i biblioteką ją implementującą;
2. niezgodności ilości wymiarów wartości wynikowej;
3. niezgodności wielkości miary użytej do zapisu wartości funkcji;
4. błędne obliczenia wynikające z błędnej funkcji, ograniczeń logiki lub niedokładności obliczeniowych komputerów.

Każdy z wymienionych powyżej rodzajów braków danych powoduje, że do wartości obliczanych przez zapisane funkcje należy podchodzić z ostrożnością. Wynika to również z rozdzielności opisywanego systemu zapisu informacji opisujących konstrukcje oraz konkretnych modeli matematycznych czy fizycznych (użytych do wyrażenia konkretnych wartości).

Brak nawet jednego elementu (np. brak definicji cechy konstrukcyjnej, która mogłaby też mieć przypisana klasę) może wprowadzić szereg ograniczeń możliwości obliczeniowych, jednak nie zablokuje prowadzenia analizy na częściowych danych. Jest to w bezpośredni sposób powiązane z oczekiwanym, zwiększonym poziomem treściwości struktury zapisu i szerokim zakresem dopuszczalnej niekompletności danych.

Jedynymi elementami powodującymi braki w możliwości przeprowadzenia obliczeń (w ograniczonym braku zakresie) są wartości funkcji i relacje typu D, występujące w wartościach cech. Oznacza to, że dane zapisane z użyciem tej metody mogą charakteryzować się podwyższonym poziomem niekompletności zapisu oraz będą utrzymywać spójność struktury na potrzeby analizy numerycznej.

### 5.1.8 Cechy wybranej metody opisu konstrukcji

Stworzony język symbolicznego zapisu cech konstrukcji, pozwala na stworzenie opisu struktury oraz przypisanie odpowiednich atrybutów jej węzłom. Jest on oparty o deklaratywny sposób reprezentacji danych, gdzie reprezentacja komputerowa definiuje bezpośrednio i jawnie strukturę zapisu. Jedynym dynamicznym elementem zapisu są dopuszczone funkcje w wartościach cech konstrukcji.

Oprócz wynikającej z podstawowej struktury zapisu danych hierarchii obiektów, w ramach symbolicznego języka KXML zawarty został szereg technik wywodzących się z programowania obiektowego:

1. *delegacja* - definiująca mechanizm odniesień i identyfikacji poszczególnych węzłów zapisu oraz instancji cech konstrukcyjnych;

2. *abstrakcja* - rozdziela definicję klas i ich instancji i pozwala na wielokrotne definiowanie elementów tej samej klasy utrzymując jednakowy kontekst interpretacji;
3. *dziedziczenie* - pozwala na stworzenie drzewa hierarchii kontekstu klas, struktur lub innych złożonych typów danych;
4. *polimorfizm* - umożliwia tworzenie szablonów i nadpisywanie wartości cech oraz struktur węzłów z użyciem programów interpretujących opis.

## 5.2 Formaty zapisu

Komputerowa reprezentacja zapisu cech konstrukcji, w formie maszynowej przybiera formę abstrakcyjnych informacji binarych. Nadanie tym informacjom umownej struktury (definiowanej np. przez słowa kluczowe) oraz reguł interpretacji pozwala na stworzenie symbolicznego języka, który ze względu na naturę obliczeń komputerowych przyjmował będzie różnorodne formaty zapisu.

W ramach prowadzonych badań, głównym formatem zapisu symbolicznego języka cech konstrukcji jest KXML - format zapisu oparty o XML<sup>3</sup>. Możliwe i dopuszczalne jest użycie innych uniwersalnych języków komputerowych (np. JSON, YAML), poniżej wskazane są trzy formaty komputerowego zapisu antywzorca AE1 z użyciem symbolicznego języka w różnych formatach zapisu (list. 5.10,5.11,5.12).

```
1 <struct id="AE1" class="korpus przekładni ślimakowej">
2   <model class="mechanical">
3     <node id="ob1" class="obudowa korpusu przekładni ślimakowej">
4       <node id="op1" class="oprawa łożysk ślimaka">
5         <node id="w1" class="wcięcie"></node>
6       </node>
7     </node>
8   </model>
9 </struct>
```

**Listing 5.10:** Antywzorzec AE1 w formacie KXML

Podstawowym elementem odróżniającym składnię KXML od innych symbolicznych formatów, jest sposób reprezentacji listy węzłów i cech. Wynika to ze sposobu definiowania obiektu jako bytu abstrakcyjnego albo posiadającego określoną klasę oraz z możliwości formatu do oddzielenia atrybutów obiektu od elementów mu podległych

<sup>3</sup>język symbolicznych znaczników przeznaczony do elastycznego dostosowywania do różnych rodzajów domen informacyjnych dla zawartych w nim danych

w hierarchii struktury. O ile w formatach wywodzących się z XML, możliwe jest użycie typu elementu języka do określenia typu elementu (np. *node*, *feature*), to w JSON i YAML, definicja typów podstawowych elementów jest niezmienna i nie pozwala na powiązaniem z rodzajem specyficznym dla danego języka domeny.

```
1 {
2   "id": "AE1",
3   "class": "korpus przekładni ślimakowej",
4   "model": {
5     "nodes": [
6       {
7         "id": "ob1",
8         "class": "obudowa korpusu przekładni ślimakowej",
9         "nodes": [
10        {
11          "id": "op1",
12          "class": "oprawa łożysk ślimaka",
13          "nodes": [
14            { "id": "w1", "class": "wcięcie" }
15          ]
16        }
17      ]
18    }
19  ]
20 }
21 }
```

**Listing 5.11:** Antywzorzec AE1 w formacie JSON

```
1 ---
2 id: AE1
3 class: korpus przekładni ślimakowej
4 model:
5   nodes:
6   - id: ob1
7     class: obudowa korpusu przekładni ślimakowej
8     nodes:
9     - id: op1
10       class: oprawa łożysk ślimaka
11       nodes:
12       - id: w1
13         class: wcięcie
```

**Listing 5.12:** Antywzorzec AE1 w formacie YAML



Jedną z kluczowych zalet płynących z oparcia wybranego formatu danych o XML, jest możliwość stworzenia konkretnego schematu składni danego języka. W przypadku formatów pochodzących z XML, specyfikacja przyjmuje formę pliku XSD<sup>4</sup>, definiującego podstawowe reguły leksykalne:

```
1 <?xml version="1.0" encoding="UTF-8"?>
2
3 <xs:schema xmlns:xs="http://www.w3.org/2001/XMLSchema"
4   xmlns:xsi="http://www.w3.org/2001/XMLSchema-instance">
5   <xs:complexType name="referenceType">
6     <xs:attribute name="id" type="xs:string"/>
7     <xs:attribute name="class" type="xs:string"/>
8   </xs:complexType>
9   <xs:complexType name="featureType" mixed="true">
10    <xs:complexContent>
11      <xs:extension base="referenceType">
12        <xs:attribute name="unit" type="xs:string"/>
13        <xs:attribute name="vector" type="xs:string"/>
14      </xs:extension>
15    </xs:complexContent>
16  </xs:complexType>
17  <xs:complexType name="nodeType">
18    <xs:complexContent>
19      <xs:extension base="referenceType">
20        <xs:sequence>
21          <xs:element name="feature" type="featureType" minOccurs="0"
22            maxOccurs="unbounded"/>
23          <xs:element name="node" type="nodeType" minOccurs="0"
24            maxOccurs="unbounded"/>
25        </xs:sequence>
26      </xs:extension>
27    </xs:complexContent>
28  </xs:complexType>
29  <xs:element name="struct">
30    <xs:complexType>
31      <xs:complexContent>
32        <xs:extension base="referenceType">
33          <xs:sequence>
34            <xs:element name="model" type="nodeType"
35              maxOccurs="unbounded"/>
36          </xs:sequence>
37        </xs:extension>
38      </xs:complexContent>
```

<sup>4</sup>z ang. XML Schema Definition - definicja schematu XML

```
35 </xs:complexType>  
36 </xs:element>  
37 </xs:schema>
```

**Listing 5.13:** Składnia zapisu symbolicznego KXML w formacie XSD

Schemat formalnej struktury języka, zawarty w regułach XSD, pozwala na uproszczenie i automatyzację procesu parsowania danych wejściowych. Specyfikacja XSD stworzona na potrzeby języka KXML, definiuje format zapisu struktury danych, podstawowe węzły (*struct*, *model*, *node*, *feature*) oraz wskazuje podstawowe parametry, zdefiniowane w ramach symbolicznego języka zapisu cech konstrukcji (*id*, *class*, *unit*, *vector*). Definicja formatu dla symbolicznego języka opisu cech konstrukcji, może być łatwo dalej rozszerzana poprzez modyfikację lub uszczegółowienie powyższej definicji (list. 5.13). Pozwala to na podejmowanie dalszych działań prowadzących do usystematyzowania danych opisujących obiekty elementarne konstrukcji.

### 5.3 Przetwarzanie danych

Ze względu na znaczne różnice w formie symbolicznej reprezentacji cech konstrukcji na rysunkach technicznych oraz aby umożliwić efektywne przetwarzanie danych - wymagane jest tworzenie symbolicznych reprezentacji pośrednich (np. KXML). Dopiero dane w formacie dostosowanym do potrzeb numerycznych, można stosunkowo łatwo poddawać komputerowej obróbce pozwalającej na ich użycie w obliczeniach. W ramach przyjętej metody prowadzonych badań, wyróżnić można dwa kluczowe etapy w ramach których odbywa się proces translacji symbolicznych reprezentacji cech konstrukcji:

1. z rysunku technicznego na format znormalizowany (np. KXML) - gdzie dokonywana jest manualna dekompozycja danych zawartych na rysunku technicznym, do symbolicznego formatu „zrozumiałego” zarówno dla ludzi jak i komputerów;
2. z formatu znormalizowanego (np. KXML) na dane maszynowe - tzw. proces parsowania danych, gdzie standaryzowane informacje wejściowe są wczytywane do pamięci komputera i przyjmują formę wymaganą przez program obliczeniowy.

Pierwszy z powyższych etapów, wynika z powszechności stosowania rysunku technicznego do reprezentacji konstrukcji oraz braku dostępnych źródeł komputerowych danych opisujących cechy mechanizmów. Drugi jest naturalną i nieuniknioną konsekwencją różnic występujących pomiędzy algorytmami, gdzie możliwe jest znaczne zróżnicowanie formatów zarówno danych wejściowych jak i wyjściowych.

### 5.3.1 Dekompozycja konstrukcji na potrzeby zapisu

Proces dekompozycji struktury konstrukcji oparty jest o wydzielenie składowych obiektów elementarnych, spełniających konkretną funkcję składową mechanizmu. Oczywiście jest rozdzielenie struktur mechanizmu tworzących oddzielne obiekty fizyczne np. korpus, pokrywy, tuleje, wały.

Różne obiekty fizyczne w przyjętej metodzie reprezentacji cech konstrukcji, mogą tworzyć zarówno oddzielne elementy typu *struct* jak i *node*. Oznacza to, że pokrywa korpusu może być traktowana jako oddzielna konstrukcja o pewnym identyfikatorze, do której mogą odwoływać się wartości cech innych konstrukcji (występujących w kontekście analitycznym). Opisanie tej samej pokrywy w ramach elementu typu *node* realizuje identyczny proces, jednak istnienie tego węzła (np. reprezentującego pokrywę korpusu) oznacza integralność elementu w konstrukcji - jego bezpośredni wpływ na realizowaną funkcję.

Bardziej złożonym procesem jest identyfikacja i izolacja poszczególnych obiektów elementarnych jednego obiektu fizycznego. W tym przypadku, stosowana jest metoda dekompozycji mechanizmów wg. realizowanej przez nie funkcji (inspirowana metodą enumeracji możliwych rozwiązań konstrukcyjnych [121]). W tradycyjnym podejściu do konstruowania i projektowania części maszyn, projekt powstaje w oparciu o wiedzę, intuicję, innowacyjność oraz doświadczenie projektanta. Poszczególne obiekty elementarne tworzone są w grupach spełniających jednakową funkcję, często jedynie poprzez skopiowanie podstawowych cech opisujących obiekt ją realizujący. Dodatkowym czynnikiem wskazującym na właściwość przyjętej metody dekompozycji wg. nadanej strukturze funkcji, jest wymaganie braku nadmierności w konstrukcjach (braku obiektów elementarnych nie realizujących żadnej funkcji istotnej dla kauzalizmu nadrzędnego mechanizmu).

### 5.3.2 Parsowanie zapisu w celu dalszego przetwarzania

Głównymi wymaganiami stawianymi przed programami implementującymi mechanizmy parsowania symbolicznej struktury danych zapisanej w stworzonej metodzie zapisu cech konstrukcyjnych są:

1. utrzymanie bezpośredniej reprezentacji struktury węzłów i traktowanie jej jako informacji do analizy,
2. obliczenia wartości cech w formie pozwalającej na analizę niejawnych relacji (typu D) występujących w funkcjach wartości.

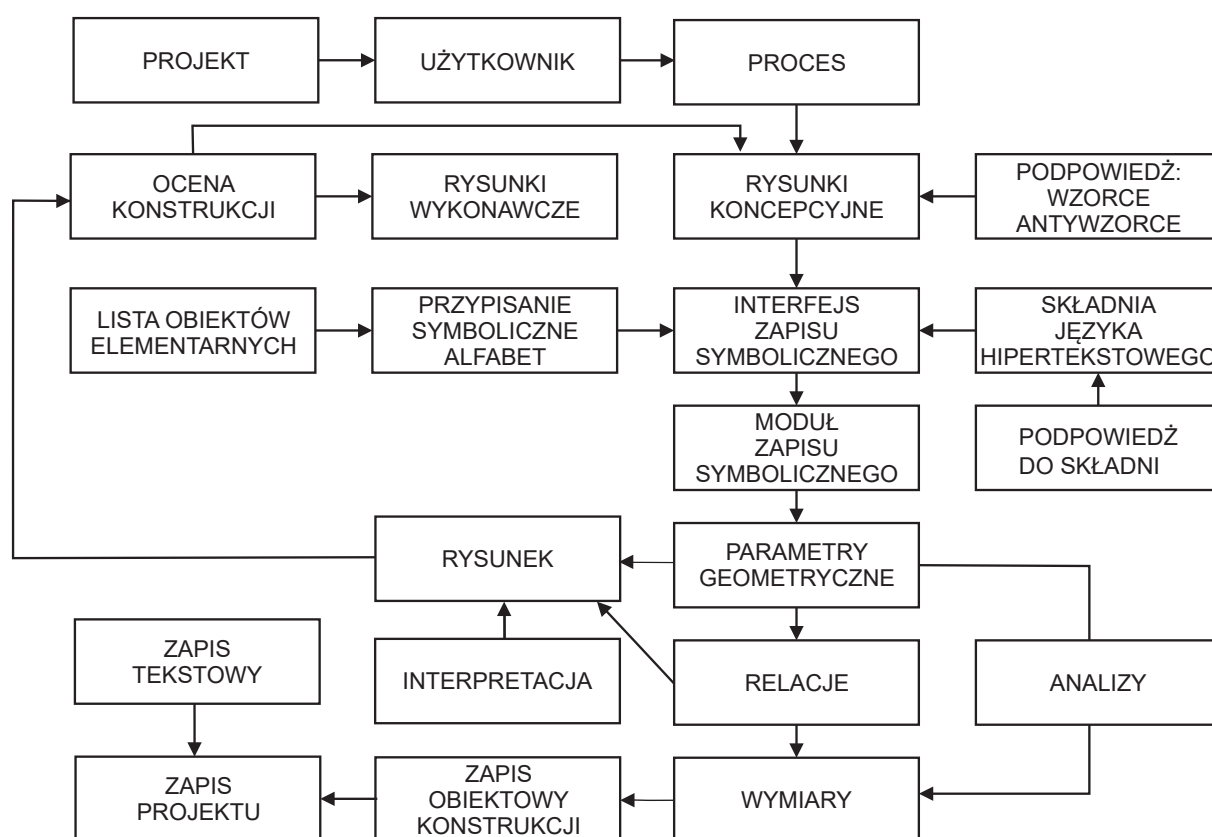
Aby spełnić wymagania zgodności z proponowanym opisem symbolicznym, proces parsowania musi być zgodny z poniższym:

1. *Zlokalizowanie i wczytanie pliku KXML przy pomocy parsera XML* - w trakcie tego kroku zakłada się, że weryfikacja spójności formatu XML będzie wykonana przez użytą bibliotekę (często dostarczaną razem z językiem programowania).
2. *Wczytanie danych konstrukcji* - złożonej z wielu modeli definiujących cechy i drzewami węzłów z konkretnymi wartościami cech lub funkcjami pozwalającymi na ich obliczenie. Załadowana do pamięci struktura powinna być w pełni uniezależniona od notacji zapisu (np. KXML) i odnosić się jedynie do reguł i wartości leksykalnych oraz struktury danych. Możliwe jest wprowadzenie weryfikacji ilości poszczególnych elementów oraz ładowanie struktury wyłącznie w oparciu o zdefiniowane słowa kluczowe. Pozwala to uniknąć nieprawidłowych danych, utworzyć ograniczone zasięgiem widoki analityczne oraz zadbać o weryfikację kompletności zawartych w opisie informacji.
3. *Weryfikacja integralności wczytanego opisu konstrukcji* - powinna zostać wykonana wobec zasad definiujących strukturę języka, dostępne relacje i metody reprezentacji danych. W ramach tej fazy, można również wprowadzić do analizy dodatkowe wymagania, a do weryfikacji spójności struktury zapisu należy sprawdzić:
  - kompletność wprowadzonych danych - sprawdzając czy wszystkie wymagane atrybuty są ustawione;
  - poprawność relacji pomiędzy cechami konstrukcji - sprawdzając czy wszystkie identyfikatory cech użyte przy podawaniu ich wartości posiadają pełną, wymaganą definicję w ramach danego modelu;
  - poprawność relacji pomiędzy węzłami - poprzez sprawdzenie unikalności identyfikatorów węzłów w ramach poszczególnych modeli oraz potwierdzenie braku występowania pętli w drzewach klas węzłów;
  - poprawność funkcji w wartościach cech konstrukcyjnych - poprzez skuteczne ich wczytanie oraz wykrycie ewentualnych pętli wywołań;
  - poprawność relacji pomiędzy funkcjami cech konstrukcyjnych - poprzez sprawdzenie wszystkich odniesień do innych cech, istnienia i możliwości obliczenia danych do użycia, weryfikacji użytych jednostek miary;

Wynikiem prawidłowo przeprowadzonego procesu parsowania opisu konstrukcji jest skierowany graf, integrujący w pamięci komputera wszystkie wczytane struktury węzłów, przypisane im cechy konstrukcyjne i ich wartości.

## 5.4 Przykład zastosowania

Do wskazania możliwych zastosowań opracowanego języka symbolicznej reprezentacji cech konstrukcji, wskazany został proces interaktywnego projektowania konstrukcji mechanicznych. Aby zademonstrować wykorzystanie symbolicznego zapisu cech konstrukcji do wskazywania błędów projektowych, został on uzupełniony o szereg nowatorskich modułów (rys. 5.9). Wykorzystują one możliwości symbolicznej reprezentacji wiedzy konstruktora do usprawnienia jego pracy i redukcji ilości błędów w projekcie części mechanicznej.



**Rysunek 5.9:** Koncepcja systemu z użyciem zapisu symbolicznego

W ramach tworzonego projektu konstrukcji mechanicznej, projektant, użytkownik komputera, podążając za przyjętym procesem projektowania, tworzy rysunki koncepcyjne opisujące projektowane konstrukcje. Już na tym, wczesnym etapie, możliwe jest użycie symbolicznej reprezentacji cech konstrukcji aby wskazać możliwe wzorcowe rozwiązania, lub wykryć niebezpieczne podobieństwo do antywzorcowych struktur.

Stworzenie pierwszych symbolicznych form opisowych dla projektowanej części mechanicznej, pozwala na sprawdzenie ich podobieństwa do znanych antywzorców i powiadomienie konstruktora o niebezpiecznym podobieństwie do znanych antywzorców. Leksykalne połączenie modelu klasyfikacyjnego opracowanej metody, pozwala

również na definiowanie opisu konstrukcji z użyciem poleceń słownych.

Koncepcja struktury konstrukcji opracowana przez projektanta, przekształcana jest w dalszych krokach do symbolicznej formy, poprzez interfejs zapisu symbolicznego (wspieranego narzędziami leksykalnymi) i moduł implementujący reguły zapisu. Użycie zapisu symbolicznego pozwala na stworzenie i użycie słowników obiektów elementarnych, które mogą zostać przypisane symbolom leksykalnym. Jednolita składnia języka zapisu cech konstrukcyjnych, pozwala również na tworzenie hipertekstowych odniesień - reprezentujących wybrane cechy konstrukcji lub relacji strukturalnych. Relacje te, można wykorzystać np. do ograniczania zakresu podpowiedzi oferowanych konstruktorowi, automatycznie eliminując błędne, antywzorcowe rozwiązania.

Zebrana w projekcie konstrukcji wiedza konstruktora pozwala na wyznaczenie parametrów geometrycznych konstrukcji oraz analizę i symulację występujących w strukturze relacji kauzalnych. Efektem tych działań jest symboliczna reprezentacja mechanizmu, której graficzną reprezentację (np. w formie rysunku technicznego, wizualizacji 3D, animacji) można poddać formalnej ocenie konstrukcji, a w przypadku zaobserwowanych dodatkowych błędów - zwrócić do dalszych prac projektowych.

Wielowarstwowy rysunek techniczny opisujący projekt części mechanicznej może być generowany manualnie (jako złożenie przygotowanych wcześniej materiałów graficznych), jak i automatycznie - na podstawie zebranych danych i informacji definiujących cechy konstrukcji (również kształt). Kluczowym elementem tego przykładu jest przeniesienie tzw. źródła prawdy do formatu poddającego się automatycznej obróbce komputerowej. Podsumowując zalety stosowania zapisu KXML i inteligentnej oceny jakości części maszyn można wskazać następujące, nowe możliwości:

1. automatyczne sugerowanie zmian w projekcie - eliminowanie znanych błędów konstrukcyjnych;
2. automatyczne proponowanie użycia wzorcowych wartości cech konstrukcyjnych, obiektów elementarnych;
3. rozszerzenie możliwości komputerowej analizy cech konstrukcji mechanicznych, bez ograniczenia tradycyjnej oceny wykonywanej przez człowieka.

## Rozdział 6

# Metoda oceny konstrukcji elementów maszyn

Opracowana metoda oceny części mechanicznych oparta jest o wskazanie braku podobieństwa do zdefiniowanej wcześniej biblioteki antywzorców zawierającej znane błędy konstrukcyjne (np. rozdz. 4.2). Umożliwia ona automatyczne wykrywanie błędów konstrukcyjnych poprzez ocenę podobieństwa analizowanej struktury do antywzorców - inteligentną ocenę jakości w oparciu o antywzorce [64, 66, 124, 126, 127].

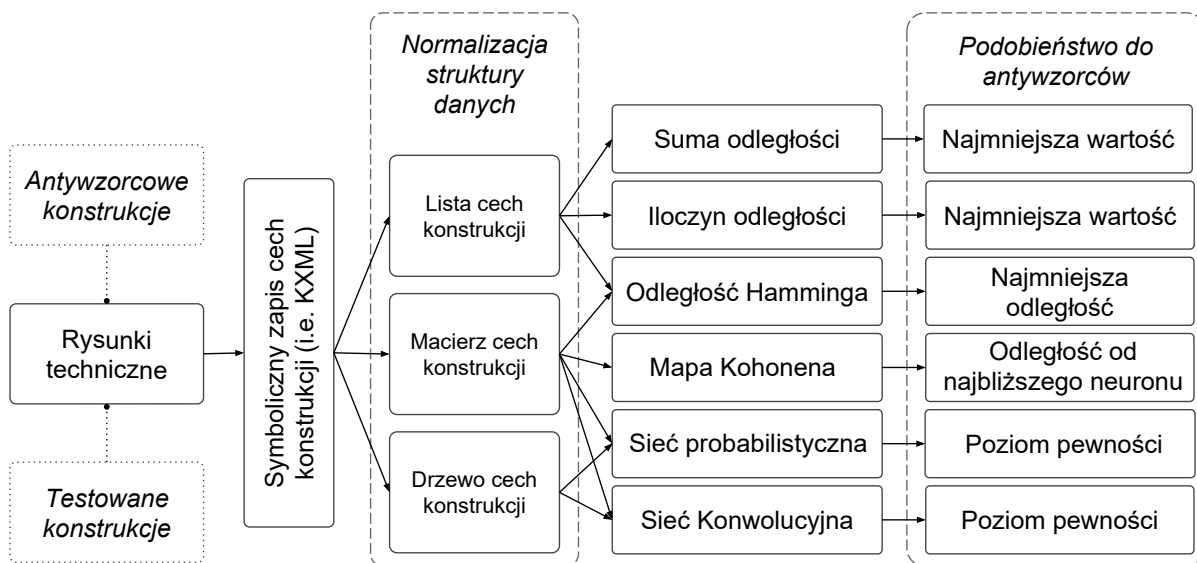
Stworzony symboliczny język opisu cech konstrukcji KXML (rozdz. 5) pozwala na ujednoczenie, uproszczenie i zarządzanie bazą antywzorcowych konstrukcji. Koncepcja antywzorców nie jest powszechna i tym samym wymagane jest stworzenie mechanizmów pozwalających na załadowanie antywzorcowych cech do pamięci komputera i ich analizę. Wielowymiarowa natura opisów konstrukcji mechanicznych oraz symbolicznego języka KXML nie pozwala na bezpośrednie użycie danych w nim zapisanych przez testowane modele numeryczne i wymaga dodatkowej normalizacji dostosowującej dane do możliwości użytego do porównania algorytmu. Czynniki te tworzą potrzebę utworzenia etapu *normalizacji struktury danych*, gdzie należy dokonać przekształcenia opisu cech konstrukcji z formy KXML do podstawowej formy danych wejściowych dostępnych dla wybranego modelu obliczeniowego.

Opracowana metoda oceny konstrukcji wymaga posiadania bazy antywzorców<sup>1</sup> i oparta jest o następujące etapy (rys. 6.1):

1. *normalizacja opisu cech konstrukcji* - format wyjściowy normalizacji (KXML) powinien odpowiadać formatowi bazy antywzorców aby utrzymać spójność danych;
2. *normalizacja danych* - dostosowująca symboliczną reprezentację cech konstrukcji, do formatu kompatybilnego z użytą metodą numeryczną;

---

<sup>1</sup>opcjonalnie rozwijanej i uzupełnianej o nowe błędne rozwiązania dla zwiększenia efektywności opracowanej metody oceny konstrukcji



**Rysunek 6.1:** Przekształcenia danych opisujących cechy konstrukcji

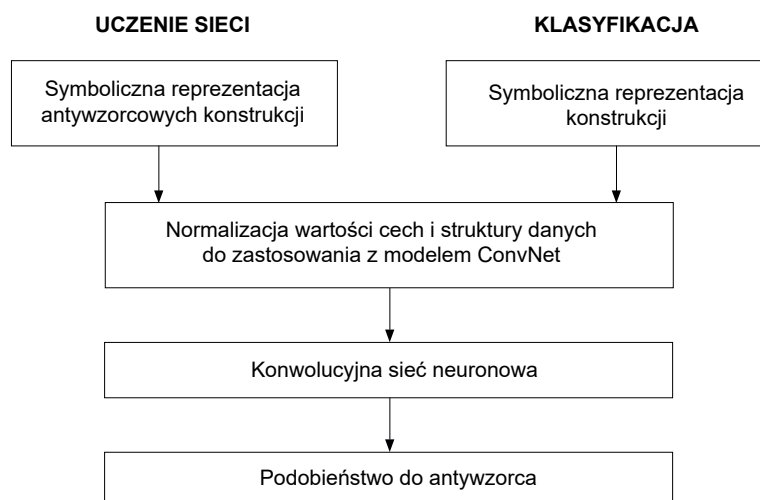
3. *obliczenie podobieństwa do antywzorców* - wskazujące liczbową wartość oznaczającą podobieństwo testowanej części mechanicznej do zgromadzonej bazy wiedzy w formie antywzorców.
4. *interpretacja wartości podobieństwa* - przekształcenie numeryczne, pozwalające na translację wynikowej wartości w formę decyzyjną odpowiadając na pytanie czy odległość ta jest wystarczająco niska by uznać wynik za wskazanie na nadmierne podobieństwo do antywzorców.

W trakcie prowadzonych badań, zidentyfikowane zostały trzy podstawowe struktury danych wymagane przez wybrane metody obliczeniowe: lista, macierz oraz drzewo. Najprostsze z weryfikowanych modeli wymagają jednowymiarowej struktury danych i nie pozwalają na obliczenia uwzględniające informacje zawarte w strukturze konstrukcji.

Do zwiększenia dokładności obliczeń, możliwe jest tworzenie list o stałych, przypisanych poszczególnym cechom pozycjach, macierzy cech konstrukcyjnych. Ta forma przedstawienia danych obliczeniowych wydaje się najbardziej naturalną dla algorytmów. Poprzez uwzględnienie informacji o rozdzieleniu poszczególnych elementów w macierzy danych, możliwe jest zwiększenie zakresu danych do obliczeń z użyciem algorytmów numerycznych (np. odległości Hamminga).

Hierarchiczna struktura reprezentacji (obecna np. w KXML) może przybrać formę drzewa lub grafu na potrzeby obliczeń. Jedynie w przypadku sieci neuronowych możliwe jest użycie danych w złożonych formatach, jednak nie dostarczają one w sposób bezpośredni żadnych technik obliczeniowych wspierających ten typ danych. Mimo





**Rysunek 6.2:** Schemat przyjętej metody zastosowania sieci konwolucyjnych

tego, modele sieci neuronowych (opracowane na potrzeby rozpoznawania zagnieżdżonych wzorców i ekstrakcji cech strukturalnych w zdjęciach) stwarzają możliwość klasyfikacji symbolicznych informacji, w tym elementów symbolicznego zapisu cech konstrukcji według ogólnego schematu przedstawionego na rys. 6.2.

Możliwość wykrywania znanych wzorców danych przez sieci neuronowe wynika z dostosowania wewnętrznych parametrów poszczególnych warstw funkcji matematycznych (neuronów) do zdefiniowanych wcześniej danych. Proces ten, nazywany uczeniem sieci (w odróżnieniu od normalnego trybu pracy - klasyfikacji) jest dodatkowym krokiem, wymaganym jedynie dla sieci probabilistycznych i konwolucyjnych. Opracowana metoda oceny konstrukcji mechanicznych, składa się z wykonywanych kolejno po sobie procesów:

1. *Zdefiniowanie przestrzeni rozwiązań antywzorcowych* - stworzenie jak najbardziej kompletnego zbioru syntetycznych definicji obiektów elementarnych (części maszyn) pozwalającego na zdefiniowanie płaszczyzny rozwiązań antywzorcowych, od której mierzony będzie wielowymiarowy wektor odległości.
2. *Wskazanie cech konstrukcji do analizy* - mimo znacznej złożoności wszystkich danych opisujących cechy konstrukcji nawet prostych części mechanicznych, możliwe jest ich komputerowe przechowywanie i przetwarzanie w formie kompletnej. Mimo tego, nadmierny kontekst informacyjny ukrywa informacje kluczowe z punktu widzenia badania podobieństwa obiektów elementarnych i całości konstrukcji. Aby zniwelować ten efekt, należy dostosować zakres danych przekazywanych do algorytmu porównującego do zakresu cech zbliżonego do użytego w opisie poszczególnych antywzorców.

3. *Klasyfikacja elementów* - kluczowy proces opracowanej metody, gdzie poprzez zastosowanie wybranej metody numerycznej, obliczana jest wartość liczbową reprezentująca podobieństwo do antywzorca (podobieństwo do elementów klasy definiującej wybrany antywzorzec).
4. *Interpretacja wyników* - możliwość porównania ze sobą wartości podobieństwa do antywzorców różnych testowanych elementów i oceny ich podobieństwa do konkretnych antywzorców. Istotnym elementem określenia wystarczającego poziomu jakości jest wskazanie wartości granicznej w formie pre-definiowanej, lub poprzez manualną analizę wyników. W przypadku testowania wielu rozwiązań, możliwe jest automatyczne filtrowanie populacji możliwych rozwiązań (np. przy pomocy reguły pareto).

## 6.1 Zdefiniowanie referencji jakościowej

Możliwość oceny jakości konstrukcji mechanicznych z użyciem proponowanej metody, wynika z uznania pewnego zakresu, przestrzeni danych - jako posiadającej charakter interpretowany jako błąd konstrukcyjny. Aby określić przynależność testowanych informacji (opisów konstrukcji) do grupy określanej jako antywzorce, należy wskazać ich podobieństwo do elementów ze zbioru antywzorcowych opisów.

Poszczególne egzemplarze antywzorcowych konstrukcji reprezentują błędy, które można odnaleźć w projektach konstrukcji mechanicznych. Przyjmując każdą z cech obecnych w opisie jako jeden z wymiarów użytych do opisu wybranego węzła konstrukcji, biblioteka antywzorców, tworzy wielowymiarową przestrzeń danych.

Możliwe jest zastosowanie szeregu algorytmów (np. PCA<sup>2</sup>) do uproszczenia i redukcji ilości wymiarów użytych w opisie. Nie wydaje się to jednak zasadne ze względu na potrzebę utrzymania relacji występujących pomiędzy wartościami różnych cech. Stosowanie technik obliczeniowych tego typu redukuje również rolę struktury w obliczeniach, co w przypadku niektórych z modeli obliczeniowych (np. algebraicznych) pozwala na wprowadzenie do obliczeń mechanizmu zmniejszającego zależność obliczeń od niezmienności struktury zapisu.

W sposób oczywisty, biblioteka antywzorców nie wskazuje wszystkich możliwych nieprawidłowości, a raczej definiuje umowną płaszczyznę, do której nadmierne zbliżenie wskazuje na obecność antywzorców. Ze względu na zmienne możliwości uwzględnienia wielowymiarowych danych przez użyte metody numeryczne:

- dla algebraicznych modeli, przyjmuje się uproszczenie wartości cech, ich złożenia do formy listy liczb;

---

<sup>2</sup>z ang. Principal Component Abstraction

- dla algorytmicznych modeli, tworzone są dwuwymiarowe macierze wartości cech konstrukcyjnych, wypełnione informacjami odpowiadającymi znormalizowanym wartościom cech;
- dla sieci neuronowych, odpowiednią strukturą danych jest również macierz, jednak przy rozszerzeniu modelu o algorytmiczne relacje pomiędzy sieciami, możliwe jest użycie struktur drzewiastych (np. dla sieci Kohonena).

Celem procesu zdefiniowania referencji jakości w formie biblioteki antywzorców jest wskazanie symbolicznych wartości reprezentujących błędny charakter obiektów elementarnych tworzących konstrukcje mechaniczne. Aby proces ten był skuteczny, normalizacja, strukturalizacja i ogólnie przyjęty symboliczny format ich opisu musi być spójny z użytym do przygotowania danych do obliczeń.

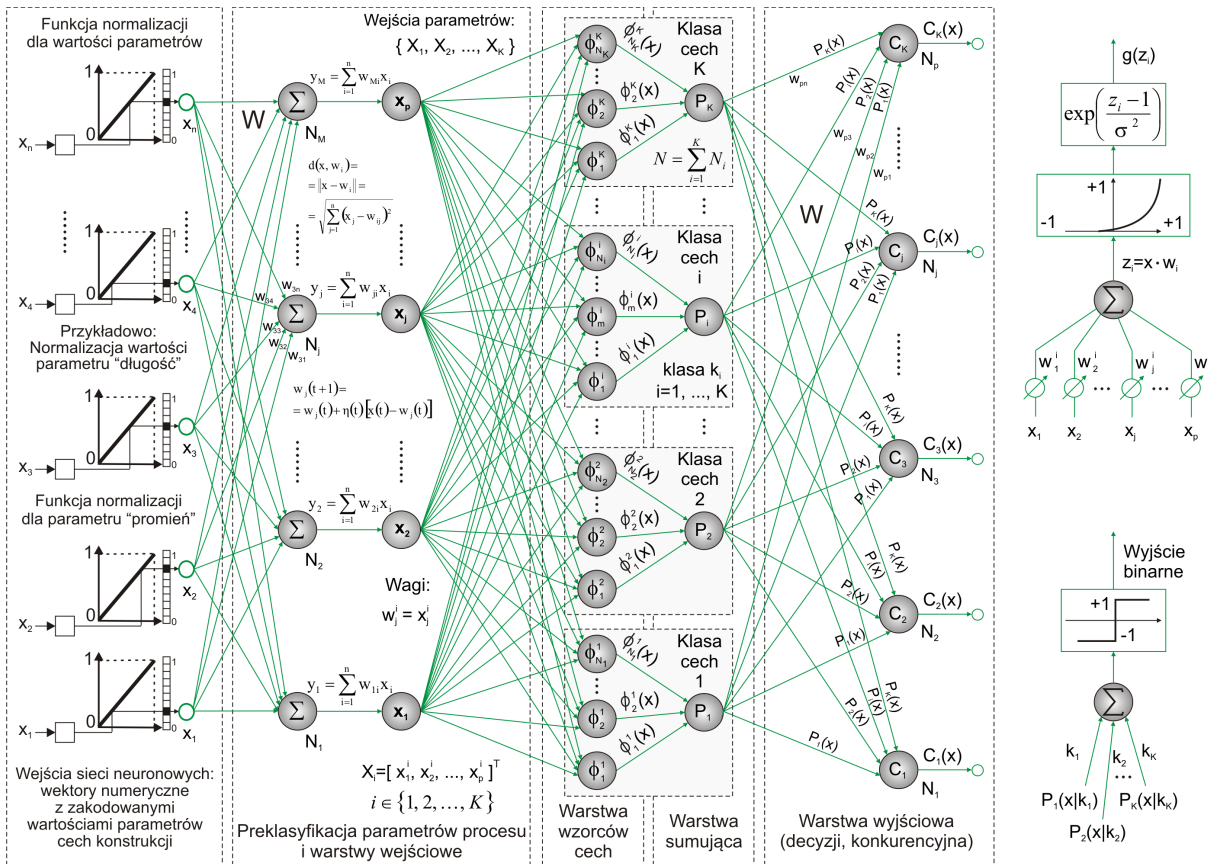
Przyjęty model numeryczny determinuje również sposób użycia zbioru antywzorców w trakcie obliczeń. W przypadku algebraicznych modeli i algorytmicznych modeli, wartości cech konstrukcji są bezpośrednio uwzględniane w obliczeniach. Sieci neuronowe integrują „wiedzę” o antywzorcowych wartościach w trakcie procesu uczenia sieci, a obliczenia klasyfikujące testowane elementy nie odnoszą się bezpośrednio do antywzorcowych wartości. Wynika to z natury obliczeń wykonywanych przez sieci neuronowe i oznacza obniżoną precyzję wyników, jednak dostarcza dodatkowe możliwości wykrywania powtarzających się wzorców danych (np. antywzorcowych cech w symbolicznym opisie konstrukcji mechanicznej).

Kluczowym czynnikiem wpływającym na efektywne zastosowanie utworzonego zbioru antywzorców jest sposób ich gromadzenia, porządkowania i systematyzacji. Ze względu na przyjętą metodę dekompozycji struktury wg. funkcji realizowanej przez obiekt elementarny, zasadnym wydaje się użycie zorientowanej obiektowo bazy danych. Użycie zorientowanego obiektowo podejścia do definiowania danych, ułatwia wybór odpowiednich węzłów elementarnych, tworzenie odniesień pomiędzy strukturami oraz redukcję powtarzalności przechowywanych informacji.

W zastosowaniach praktycznych, proces tworzenia zbioru antywzorców wykonywany jest w sposób równoległy do procesu projektowania konkretnej części mechanicznej. Jedynym ich elementem wspólnym, jest możliwe automatyczne uzupełnianie zbioru antywzorców o błędy zauważone przez projektantów.

## 6.2 Wybór cech istotnych dla analizy

Kluczowym czynnikiem z punktu widzenia optymalizacji obliczeń oraz zwiększenia ich precyzji, jest dobór cech i ograniczenie obliczeń podobieństwa jedynie do antywzorcowego charakteru opisu konstrukcji (zestawu i struktury cech). W ramach prowa-



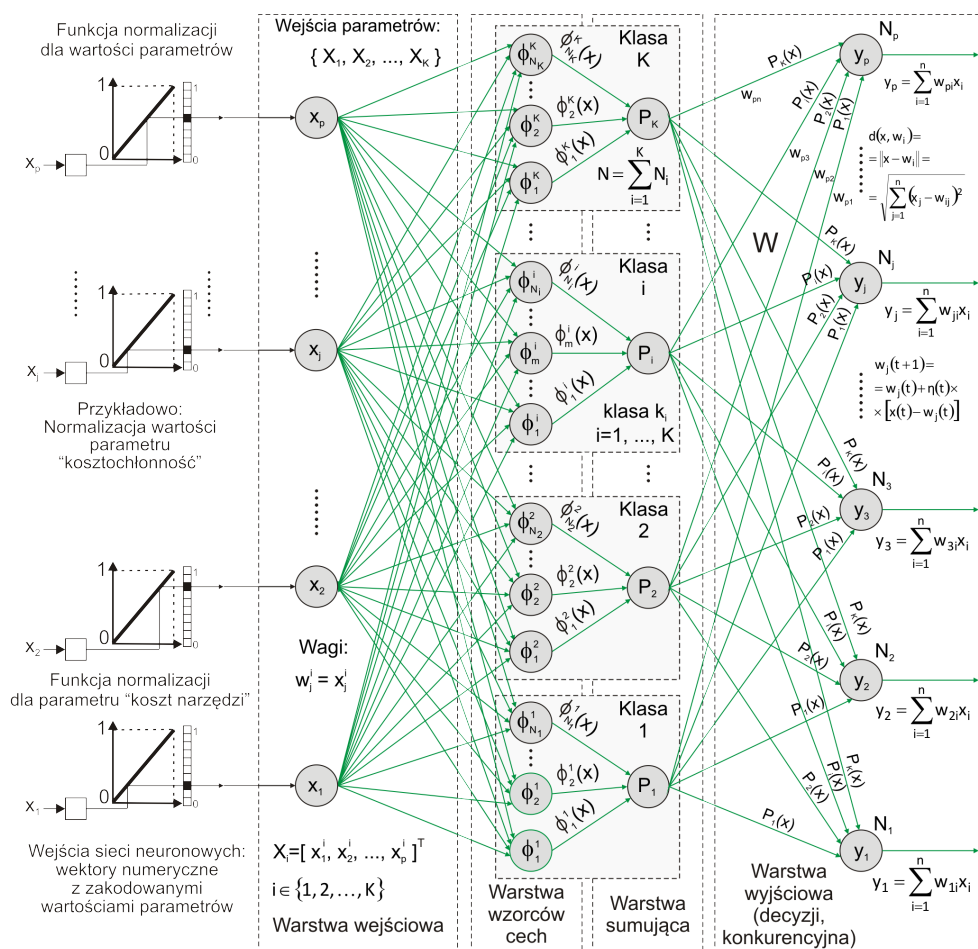
Rysunek 6.3: Schemat sieci neuronowej klasyfikującej cechy konstrukcji

dzonych prac, przyjęto syntetyczność zapisu antywzorców i nadano jej rolę wskazania minimalnego zestawu cech, węzłów i kontekstu klas, wymaganego do zdefiniowania błędnego kauzalizmu konstrukcji.

W przypadku algebraicznych metod numerycznych wymagane jest bezpośrednie porównywanie identycznych cech konstrukcji. Dla obliczeń opartych o macierze danych, możliwe jest grupowanie ich kolumn (reprezentujących cechy konstrukcji) w odniesieniu do grup cech zaobserwowanych w bazie antywzorców. Wynika to z uniezależnienia struktury reprezentacji danych w obliczeniach od stałej struktury poszczególnych antywzorców oraz z logicznego związku występującego pomiędzy niektórymi cechami konstrukcji - np. wysokość, szerokość, grubość, promień, średnica.

Oprócz oczywistych grup cech konstrukcyjnych, wynikających ze standardów używanych do opisu wybranej części (np. średnica, głębokość otworu), możliwe jest tworzenie bardziej złożonych modeli pozwalających na klasyfikację cech konstrukcji (rys. 6.3). Jest to szczególnie przydatne w przypadku zgromadzenia znacznej ilości antywzorców, gdzie brak jednoznacznej płaszczyzny cech konstrukcyjnych, którą można zdefiniować w postaci reprezentatywnej i osiągalnej obliczeniowo funkcji.

Na zaprojektowanym schemacie sieci neuronowej (rys. 6.3) wskazany jest model



Rysunek 6.4: Schemat sieci neuronowej klasyfikującej cechy produkcyjne

pozwalający na wskazanie cech istotnych dla danej grupy antywzorców - reprezentowanych przez zbiór elementów użytych w procesie uczenia sieci.

Prowadząc dalszą ekstrapolację możliwości powiązania ze sobą informacji o cechach konstrukcyjnych, możliwy jest również wybór cech konstrukcji, a tym samym grup antywzorców na podstawie ich wpływu na konkretne cechy projektowe oraz kosztochłonności (rys. 6.4). Możliwe jest to jednak dopiero po uwzględnieniu i wskazaniu relacji występujących pomiędzy poszczególnymi cechami konstrukcyjnymi a produkcyjnymi. Właściwym miejscem do zdefiniowania takiej relacji, jest opis antywzorca, który powinien zostać uzupełniony o produkcyjny model informacyjny.

Wiersze macierzy danych, reprezentując informacje o konkretnych węzłach konstrukcji są również grupowane w odniesieniu do ich kontekstu i lokalizacji w strukturze symbolicznego zapisu KXML. Należy jednak dopilnować aby tworzone grupy węzłów nie tworzyły sztucznych konstrukcji danych, które mogą utrudniać analizę poprzez zmianę zakresów porównywanych struktur.

## 6.3 Normalizacja cech konstrukcji

Aby umożliwić przeniesienie jak największej ilości informacji z symbolicznej reprezentacji KXML do formatu pozwalającego na dalsze obliczenia należy: wskazać reprezentację wartości cech, ich kontekst interpretacyjny (definiowany przez funkcję obiektu), pozycję oraz relacje wynikające z hierarchii obiektu w strukturze konstrukcji.

Dostępny zakres danych jest każdorazowo ograniczony na potrzeby badań do prostszych, niskowymiarowych struktur. Opracowany model sumacyjny (Współczynnik Zgodności z Antywzorcem - rozdz. 7.1) oraz zbliżony - model multiplikacyjny, wymagają jednowymiarowego formatu i posiadają bardzo ograniczone możliwości analizy struktur drzewiastych. Dodatkowym problemem jednowymiarowej tablicy danych, jest brak możliwości efektywnej reprezentacji rodzaju cechy. Możliwe jest tworzenie stałych formatów list, jednak nie się one praktyczne w zastosowaniach projektowych gdzie zakres informacji i struktura konstrukcji podlegają znacznym zmianom.

Użycie modeli algorytmicznych czy sieci neuronowych do wyznaczenia podobieństwa, pozwala na definiowanie pakietów danych wejściowych w oparciu o bardziej złożone struktury danych. Aby uniknąć nadmiernej złożoności obliczeń należy zredukować zorientowany obiektowo, symboliczny zapis cech konstrukcji do niskowymiarowego formatu, dostosowanego do wymagań modelu obliczeniowego. Wprowadzenie dodatkowych modeli numerycznych redukujących wymiary struktury danych (np. PCA - abstrakcji podstawowych komponentów) zmniejsza ilość dostępnych informacji o relacjach pomiędzy danymi w strukturze i nie jest zalecane.

Dodatkowo, poprzez wprowadzenie do opracowanego sposobu normalizacji wartości cech, możliwe jest jednoczesne zawarcie w nich odniesienia do stopnia ich prawidłowości oraz wymaganej precyzji obliczeń. Proces ten, często rozpoczynający obliczenia z użyciem sieci neuronowych (np. rys. 6.3, 6.4), pozwala na przybranie przez wartości cech formy czysto symbolicznej, zawierającej jednak informacje o warunkach granicznych cech konstrukcji. Przykładowo, mierząc kąt kolineacji pomiędzy bolcem a odpowiadającym mu otworem, w ramach funkcji normalizującej wartość tej cechy możemy założyć, że każda z wartości powyżej pięciu stopni jest nieprawidłowa, a wartość równa 0 jest prawidłowa. Wynikowe wartości liczb zmiennoprzecinkowych z zakresu 0..1, poprzez zastosowanie funkcji nieliniowych, mogą również zawierać np. subiektywny spadek w jakości realizowanej funkcji lub kosztochłonności zmiany cechy.

### 6.3.1 Normalizacja wartości cech

Jednym z kluczowych elementów przyjętej metody opisu konstrukcji jest kontekst określony w ramach elementu *class*. Łączy on definicję cechy z kontekstem interpretacji - np. średnica otworu posiada powiązany kontekst interpretacji ze średnicą wału.

Drugim czynnikiem definiującym kontekst normalizacji są dostępne standardy, przekształcenia i kompatybilność jednostek zdefiniowanych w atrybucie *unit*. Te niejawne relacje występujące pomiędzy cechami konstrukcji nie wydają się nieść wartości analitycznej, jednak mogą być jednym z czynników wskazujących grupy określające relatywną bliskość w obliczeniach (np. kolumn w macierzy). Aby w pełni wykorzystać informację zawartą w opisie cech konstrukcji, należy ujednoczyć:

1. *skalę wartości cechy* - tak aby ustalić zakres dostępnych poziomów i opcjonalnie uniezależnić obliczenia podobieństwa od różnic w wartościach skali różnych egzemplarzy obiektów elementarnych;
2. *jednostki wartości* - w miarę możliwości upraszczając je do jednego przyjętego zakresu obliczeniowego i precyzji różnicowania odległości pomiędzy wartościami;
3. *obrót wektorów* - przy uwzględnianiu informacji o cechach konstrukcyjnych posiadających zdefiniowany wektor, należy zapewnić jednakowy (lub zbliżony) obrót porównywanych konstrukcji poprzez np. identyfikację zwrotu kluczowych elementów konstrukcji;
4. *rozmieszczenie cech* - mające na celu ułatwienie wykrycia podobnych wzorców w danych poprzez zbliżoną lokalizację, kolejność w obliczeniach.

### 6.3.2 Pseudo-wyrażenia matematyczne

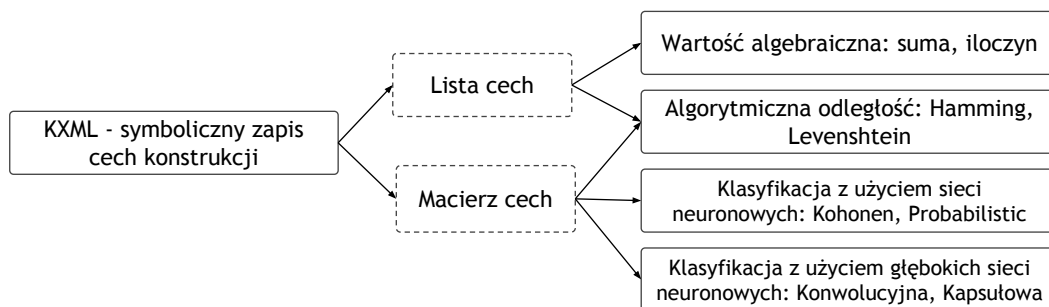
Na wcześniejszych etapach przetwarzania antywzorców, relacje występujące w wyrażeniach matematycznych reprezentujących wartości cech konstrukcyjnych niosły informacje opisujące niejawne relacje pomiędzy węzłami. Dane te zawierają nie tylko podstawową reprezentację fizyczną, ale przede wszystkim konkretne założenia konstrukcyjne np. relacja pomiędzy średnicą otworu i wału.

Jedynym odnalezionym w trakcie prowadzonym badań sposobem reprezentacji tego typu informacji w obliczeniach, jest adekwatnie bliskie rozmieszczenie węzłów (np. wierszy macierzy), ułatwiające wykrywanie wzorców w powiązanych tym typem relacji obiektów elementarnych konstrukcji.

Oczywistym sposobem dostarczenia wartości funkcji opisanej pseudo-wyrażeniem matematycznym jest jej obliczenie. Uzależnione jest to od możliwości użytego programu i systemu reprezentacji funkcji. Dopuszczalne jest zastosowanie składni praktycznie każdego języka programowania dostępnego w komputerowym środowisku analitycznym i obliczeniach w nim przeprowadzanych.

### 6.3.3 Normalizacja struktury opisu

Aby dopasować opis cech konstrukcji do ograniczeń struktury danych wejściowych konkretnego algorytmu, w każdym z rozpatrywanych modeli, należy znacznie zredukować złożoność strukturalną opisu. Powoduje to znaczną redukcję ilości informacji zawartych w pakiecie danych dostępnym w analizie podobieństwa. Szczególnie w przypadku złożonych konstrukcji mechanicznych, czynnik ten ma dominujący wpływ na jakość i precyzję prowadzonych obliczeń.



**Rysunek 6.5:** Schemat przyjętej metody numerycznej analizy struktury

Dane wejściowe przekazywane do wybranych modeli obliczeniowych (rys. 6.5), przyjmują w najbardziej złożonej reprezentacji formę macierzy (tab. 6.1) lub mapy danych, której kolumny odpowiadają cechom konstrukcji, a wiersze węzłom struktury symbolicznego opisu konstrukcji. Macierz ta musi być interpretowana (dostosowana w trakcie obliczeń) dla kontekstu i zakresu danych w niej zdefiniowanych.

Poziom 1	Poziom 2	Poziom 3	Wysokość	Szerokość	LokalizacjaX	LokalizacjaY
korpus	obudowa		10	10		
korpus	obudowa	oprawa łożysk			5	11

**Tabela 6.1:** Macierzowa reprezentacja antywzorca AG1

Występowanie w danym pakiecie danych określonego zbioru cech konstrukcyjnych, obiektów elementarnych oraz sposób ich opisu i wartości im przypisane (lub ich brak) uzależnione jest bezpośrednio od użytego modelu obliczeniowego (rozdz. 7).

Zawarcie w macierzowej reprezentacji danych informacji o klasie elementu ma na celu umożliwienie wskazania podobieństwa pomiędzy obiektami elementarnymi konstrukcji. Możliwe jest manualne tworzenie algorytmicznych rozwiązań - np. porównu-



jących podobieństwo kontekstów informacyjnych zawartych w poszczególnych węzłach, grupujących obiekty elementarne wg. podobieństwa ich cech. Jednak o ile programy realizujące tego typu funkcje są możliwe do stworzenia, to wykładniczy charakter takich porównań znacznie obniża ich stosowalność w rozwiązaniach projektowych.

Drugi, kluczowy czynnik normalizacji struktury opisu cech konstrukcji mechanicznych wynika z potrzeby porównywania ze sobą wartości, odpowiadających sobie węzłów i cech. Aby to umożliwić, normalizacja opisu musi być oparta o analizę hierarchii zarówno opisu konstrukcji, jak i niejawnych relacji pomiędzy klasami węzłów w niej rozmieszczonych. Klasyfikacja węzłów w oparciu o ich funkcję, pozwala na identyfikację rozwiązań o podobnych cechach, pozwalających na ich wzajemne porównanie.

### 6.3.4 Relacje pomiędzy obiektami elementarnymi

Tylko wyidealizowana czysto abstrakcyjna sytuacja, w której komputer posiada dostęp do kompletnej wiedzy opisującej konkretną konstrukcję, pozwala na pełne odwzorowanie wszystkich relacji występujących pomiędzy obiektami elementarnymi. Każdy z tworzonych, znormalizowanych (na potrzeby każdej z użytych metod numerycznych) modeli zapisu danych ogranicza zakres możliwych do wykrycia relacji strukturalnych czy geometrycznych. Jest to bezpośrednim efektem przekształcenia formy symbolicznego zapisu do jednego z wynikowych typów danych - lista, macierz, drzewo lub skierowany graf.

Relacje opisane w formie grafu mogą w sposób kompletny zdefiniować relacje kauzalne obserwowalne w konstrukcji mechanicznej [121], jednak żadna z wybranych do badań metod numerycznych nie pozwala na analizę podobieństwa grafów danych konstrukcyjnych. Uwidocznia to potrzebę tworzenia nowych rodzajów rozwiązań algorytmicznych, pozwalających na pełniejsze wykorzystanie informacji o strukturze konstrukcji w obliczeniach.

## 6.4 Klasyfikacja testowanych elementów

Podstawowym czynnikiem definiującym efektywność opracowanej metody jest precyzja z jaką modele obliczeniowe mogą wskazać przynależność testowanych (klasyfikowanych) opisów konstrukcji do grupy zdefiniowanej przez bibliotekę antywzorców. Różnorodny charakter użytych metod określenia podobieństwa do siebie zbiorów danych wymaga ustalenia konwencji interpretacji ich wyników.

Koncepcja procesu numerycznej klasyfikacji testowanych elementów, oparta jest o wyliczenie wartości liczbowej reprezentującej podobieństwo dwóch obiektów elementarnych (np. śrub, uch mocujących, obudów korpusów przekładni ślimakowych).

Możliwe jest przyjęcie wielu różnorodnych metod wskazania tej liczby, jednak każdorazowo wynika ona z podobieństwa ich cech, reprezentowanych przez symboliczny, znormalizowany, uproszczony zapis. Ze względu na złożoność konstrukcji mechanicznych i możliwych antywzorców (rozdz. 4.2) istotne jest uwzględnienie relacji struktury (*node*) i kontekstu klas (*class*) do wskazania właściwych złożań cech i konstrukcji, które mogą być ze sobą porównane.

Dla modeli algebraicznych (sumacyjnych, multiplikacyjnych), podobieństwo do antywzorca jest odwrotnie proporcjonalne do wartości wynikowej obliczeń (sumy lub iloczynu odległości). Wskazuje ono na niskie różnice pomiędzy odpowiadającymi sobie cechami konstrukcyjnymi zaobserwowanymi w obiektach elementarnych konstrukcji i cechami antywzorców (rozdz. 7.1).

Użycie modeli algebraicznych (sieci Hamminga, map Kohonena) dostosowanych do potrzeb porównania list lub macierzy cech konstrukcji, pozwala na uwzględnienie w obliczeniach struktury konstrukcji. Obie z analizowanych metod pozwalają na stworzenie numerycznych modeli obliczeniowych uwzględniających relacje strukturalne w wartości wynikowej. Odległość Hamminga (rozdz. 7.2), pozwala na wyizolowanie i uproszczenie zakresu wartości opisujących cechy obiektu, jednak dopiero po rozszerzeniu o model sieci neuronowych pozwala na efektywne wskazanie podobieństwa do zbioru antywzorców. W przypadku samoorganizujących się map (rozdz. 7.3) uniwersalność i złożoność reprezentacji danych (w formie dynamicznej, wielowymiarowej mapy) pozwala na jednoznaczne przypisanie cech konstrukcyjnych do określonych „lokalizacji” na abstrakcyjnej mapie.

Porównując możliwości klasyfikacji cech konstrukcji z użyciem wybranych modeli sieci neuronowych, należy wskazać różnice pomiędzy syntetyczną siecią probabilistyczną (rozdz. 7.4) a wyposażoną w dodatkowe rozwiązania algorytmiczne siecią konwolucyjną (rozdz. 7.5). Rozwiązania te pozwalają nowym modelom sieci neuronowych (np. CapsNet [107]) na lepsze uwzględnienie kontekstu występowania informacji (uniezależnienie od skali, lokalizacji, obrotu) w analizowanym pakiecie danych. Pozwala to na lepsze (w porównaniu do sieci probabilistycznej) dostosowanie parametrów warstw sieci do danych przekazanych jej w trakcie procesu uczenia danymi reprezentującymi antywzorce konstrukcyjne.

### 6.4.1 Metody określania podobieństwa

Wraz z rozwojem możliwości algorytmicznej analizy danych, zwiększa się precyzja z którą możliwe jest wskazanie podobieństwa części mechanicznych, kompozycji tych informacji oraz interpretacji jakości (czy są wystarczająco podobne do antywzorców).

Podstawowa metoda określenia podobieństwa dwóch wartości w przestrzeni eu-

klidesowej nie jest wystarczająca do wskazania różnic pomiędzy pozycją obiektów elementarnych w strukturze konstrukcji, ani w żadnych innych relacjach strukturalnych zachodzącymi pomiędzy poszczególnymi częściami mechanizmu.

Innymi sposobami mierzenia odległości, które mogą zostać użyte do wskazania podobieństwa pomiędzy dwoma symbolicznymi informacjami są modele statystyczne (np. odległość Mahalanobisa) lub miary odmienności tekstu (np. odległość Levenshteina) jednak ukrywają one fundamentalny charakter cech konstrukcyjnych, o który powinno być oparte obliczenie podobieństwa.

Już z użyciem najprostszycy modeli sumacyjnych możliwe jest wskazanie uporządkowanych zależności liczbowych pomiędzy wybranymi cechami konstrukcji. Wynik tego uproszczonego modelu pozwala na wskazanie wartości liczbowej określającej podobieństwo części maszyn, jednak ze względu na brak danych strukturalnych w prowadzonych obliczeniach, nie posiada on wystarczającej elastyczności aby mógł być stosowany w praktycznych zastosowaniach.

## 6.5 Ocena jakości konstrukcji mechanicznej

Definiując jakość konstrukcji mechanicznych jako efektywność spełnienia zadanej im funkcji, antywzorce w kontekście prowadzonych badań uznawane są jako - dane symbolicznie reprezentujące konfigurację cech konstrukcji o znacznie obniżonej efektywności. Wykrywanie podobieństwa pozwala na użycie ich do wskazania elementów konstrukcji, obniżających jej jakość - antywzorców. Ocena subiektywnej (w odniesieniu do znanych błędów) jakości części mechanicznej jest więc wynikiem możliwości wskazania w niej konkretnych, błędnych rozwiązań konstrukcyjnych (np. antywzorców z rozdz. 4.2). Pozwala to na obliczenie współczynnika jakości jako różnicy pomiędzy analizowanym rozwiązaniem (zbiorem cech projektowych części mechanicznej) a antywzorcami (zbiorem rozwiązań o błędnym charakterze).

Wskazanie znacznego podobieństwa pomiędzy częściami testowanej, symbolicznej reprezentacji opisu obiektów elementarnych, oznacza wykrycie konkretnych defektów konstrukcji i tym samym obniżeniem jej jakości. Tak zdefiniowana metoda oceny jakości nie jest wyczerpująca - nie wskazuje prawidłowości realizacji zadanej konstrukcji funkcji, jednak pozwala np. na wczesne wykrywanie błędów konstrukcyjnych. Redukcja jakości konstrukcji może mieć wiele przyczyn, jednak na etapie projektowania konstrukcji mechanicznej - każdorazowo jest wynikiem ustalenia niewłaściwych wartości przypisanych do cech obiektów elementarnych definiujących konstrukcję lub zdefiniowania ich niewłaściwych relacji.

### 6.5.1 Odległość cech projektu od antywzorca

Podobieństwo antywzorcowego elementu do jednej z części analizowanego projektu wynika z niewielkich różnic pomiędzy ich opisami. Różnice te mogą być przedstawione w postaci jednej wymiernej wartości (np. Współczynnik Zgodności z Antywzorcem - rozdz. 7.1) pozwalającej na wskazanie odległości od antywzorcowych rozwiązań. Wraz z zastosowaniem różnych metod do wyznaczenia tego uproszczenia numerycznego, zmienia się jego precyzja wynikająca z:

1. podobieństwa symbolicznych, znormalizowanych opisów obiektów elementarnych wynikającego z realizacji przez nie tej samej funkcji w mechanizmie;
2. różnic występujących w strukturze konstrukcji, obecności obiektów elementarnych i ich wzajemne relacje;
3. różnic pomiędzy wartościami cech opisujących obiekty elementarne tworzące projekt konstrukcji mechanicznej;

W przypadku prostszych metod numerycznych, porównanie ze sobą symbolicznych fragmentów wymaga wcześniejszej identyfikacji zakresu i cech konstrukcji odpowiadających wskazanym w antywzorcach. Możliwość ta płynie z leksykalnej identyfikacji funkcji i jednocześnie rodzaju obiektu elementarnego w ramach atrybutu *class*. W sposób oczywisty przypisać można sobie fragmenty konstrukcji oznaczone tą samą (lub kompatybilną) klasą, jednak dopuszczalne są znaczne różnice pomiędzy zawartością węzłów wyselekcjonowanych tą metodą.

Metoda identyfikacji i opisu antywzorców wskazuje na potrzebę ich syntetycznej reprezentacji, tak aby możliwe było wyselekcjonowanie i porównywanie wyłącznie tych cech i struktur obiektów elementarnych, które bezpośrednio definiują nieprawidłowość. Odpowiednie reprezentacje list i macierzy danych wejściowych (stworzonych na potrzeby obliczeń) powinny zawierać więc odpowiadający właściwym cechom konstrukcyjnym zbiór danych.

Rozpatrując podobieństwo korpusu (rys. 3.9) do zbioru antywzorców (rozdz. 4.2) obliczana jest odległość pomiędzy cechami poszczególnych obiektów elementarnych reprezentowanych w formie listy lub macierzy (w zależności od potrzeb modelu numerycznego). Ograniczenie to wynika z możliwości wybranych do badań metod numerycznych, a referencyjny format danych wejściowych (KXML) zawiera znacznie większą ilość informacji i bardziej kompletnie opisuje konstrukcję mechaniczną. Możliwe jest więc stworzenie wyspecjalizowanych algorytmów, pracujących bezpośrednio na danych KXML - leksykalnych grafach, drzewach danych. Poprzez zwiększenie zakresu informacji dostępnych w obliczeniach może to pozwolić na dalszą poprawę ja-

kości analizy porównawczej wskazującej podobieństwo pomiędzy obiektami elementarnymi konstrukcji mechanicznych.

### 6.5.2 Wpływ struktury konstrukcji na ocenę jakości

Uwzględnienie struktury zdefiniowanej w ramach opisu konstrukcji, symbolicznie reprezentowanej w formacie KXML jest głównym czynnikiem różnicującym możliwości obliczeniowe użytych modeli. Zaobserwować można, jak wraz z rozwojem technik informacyjnych zwiększone zostały możliwości uwzględnienia informacji złożonej, reprezentującej strukturę zawartą w koncepcji konstrukcji.

Badając możliwości reprezentacji danych dostępnych w zapisie KXML i zdefiniowanych w ramach wstępnej analizy, widoczny jest całkowity brak możliwości uwzględnienia informacji strukturalnych w modelach algebraicznych (rozdz. 7.1). Wymagają one podjęcia dodatkowych kroków, mających na celu wyeliminowanie nadmiernych danych i usystematyzowanie wartości opisujących konstrukcję (np. poprzez odpowiednie dobranie zakresu porównywanych cech oraz ich uszeregowanie).

Naturalnym kierunkiem pozwalającym na użycie informacji strukturalnej w obliczeniach, jest zastosowanie rozwiązań algorytmicznych: zmodyfikowana sieć Hamminga - rozdz. 7.2, samo-organizujące się mapy - rozdz. 7.3. Nowe techniki techniki zastosowane w zmodyfikowanej sieci Hamminga, pozwalają na wprowadzenie usprawnień wynikających z rozszerzenia procesu selekcji cech konstrukcyjnych oraz bezpośrednie uzależnienie wyniku od ilości występujących różnic raczej niż ich wartości.

Mapy Kohonen'a pozwalają na przestrzenne rozmieszczenie struktury (tworząc referencyjny sposób ich rozmieszczania oraz modyfikując jej funkcję odległości) tak aby lepiej odzwierciedlała relacje pomiędzy poszczególnymi węzłami konstrukcji. Przeprowadzane obliczenia, mające na celu wskazanie odległości pomiędzy najbardziej zbliżonymi neuronami sieci Kohonen'a upraszcza również obliczaną wartość podobieństwa - ograniczając ją jedynie do podobieństwa zadanej liczby neuronów w zdefiniowanej funkcji określającej odległość pomiędzy nimi.

Z kolei techniki informacyjne wprowadzone w ramach modeli sieci konwolucyjnych (okna konwolucji o zmiennej wielkości, filtry) pozwalają na rozmyte obliczenia uwzględniające bliskość wartości cech w opisie, tworzenie oraz nadawanie dynamicznych kontekstów danych i niezależność od lokalizacji danych. Każdy z tych czynników, w sposób bezpośredni rozwiązuje ograniczenia zaobserwowane w ramach wcześniejszych modeli, w szczególności:

- potrzebę wybrania obiektów elementarnych do porównania oraz dopasowania zakresu danych do obliczeń - adresowaną przez ruchome okno konwolucji i jego zmienna wielkość;

- reprezentacja przestrzenna może zachować formę leksykalną, jednak uproszczenia jej wymiarów i wartości nadal będą obecne ze względu na ograniczoną wielkość okna konwolucji oraz potrzebę reprezentacji liczbowej w obliczeniach sieci;

### 6.5.3 Wpływ cech konstrukcji na ocenę jakości

Kluczowym czynnikiem pozwalającym na ocenę jakości analizowanego projektu mechanicznego są opisy cech jego konstrukcji. Cechy te opisują zarówno bezpośrednio realizowaną przez obiekt funkcję, jak również czynniki obiektów składowych lub części zewnętrznych do opisywanego elementu. Każdy z zaobserwowanych rodzajów relacji geometrycznych jest strukturalną częścią informacji o konstrukcji zawartych w projekcie. Opracowany język zapisu cech konstrukcji KXML pozwala na reprezentację każdego ze wskazanych typów relacji strukturalnych, jednak uwzględnienie ich w wybranych do badań modelach numerycznych wymaga normalizacji danych oraz dostosowanie do nich modelu.

Ze względu na znaczne symboliczne różnice (znaczenie, jednostka, skala) pomiędzy wartościami liczbowymi przypisanymi poszczególnym węzłom opisującymi mechanizm, jedynie w przypadku sieci neuronowych normalizacja tych wartości jest opcjonalna - możliwe są modele normalizujące je w ramach własnych obliczeń. Widoczna jest możliwość przyszłej automatyzacji tego procesu, która w przypadku wcześniejszych technik obliczeniowych nie była możliwa.

Kluczowym czynnikiem determinującym efektywność analizy i porównania cech konstrukcji jest więc możliwość jak najbardziej kompletnego uwzględnienia w obliczeniach informacji o wartości i strukturze cech konstrukcyjnych zdefiniowanych w analizowanym projekcie konstrukcji mechanicznej.

## Rozdział 7

# Numeryczna analiza cech konstrukcji mechanicznych

Opracowana metoda oceny jakości konstrukcji nie wymaga użycia konkretnej metody obliczeniowej, jednak pozwala na wskazanie czynników istotnych dla procesu numerycznego określenia podobieństwa pomiędzy symbolicznymi opisami projektów konstrukcji mechanicznych [125]. Zastosowanie opracowanego symbolicznego zapisu cech konstrukcji (KXML) pozwala uniknąć trudności wynikających z niedostosowania rysunku technicznego, standardów symbolicznych reprezentacji oraz popularnych formatów zapisu danych CAD/CAM.

Sedno opracowanej metody inteligentnej oceny jakości części mechanicznych, leży w wykrywaniu podobieństwa testowanych elementów do zbioru antywzorców definiujących negatywną referencję jakości. W tak zdefiniowanym kontekście obliczeń, algorytm numeryczny użyty do klasyfikacji jest głównym czynnikiem determinującym możliwość wskazania podobieństwa pomiędzy częściami mechanizmu. Podsumowanie podobieństwa testowanego elementu do wybranych, znanych błędów konstrukcyjnych pozwala na wskazanie liczbowej wartości, reprezentującej subiektywną (w odniesieniu do zbioru antywzorców) jakość elementu.

Każdy z algorytmów (analizowanych w przeprowadzonych badaniach) wymaga dostosowania modelu do wymagań metody, tak aby mógł być użyty w sposób pozwalający na przyjmowanie wejściowego zbioru wartości reprezentujących cechy konstrukcyjne testowanego elementu. Rezultatem przeprowadzanych obliczeń jest wartość liczbową reprezentująca jego podobieństwo do zbioru antywzorców. Wzajemne porównanie wartości wyników obliczeń przeprowadzonych wobec jednakowych zbiorów antywzorców i z użyciem jednakowych algorytmów, umożliwia wzajemne porównanie jakości wielu elementów konstrukcyjnych.

Wykrycie podobieństwa cech konstrukcyjnych uzależnione jest od następujących możliwości modelu numerycznego:

- spójnego przetwarzania wartości cech konstrukcyjnych w znormalizowanych, symbolicznych opisach konstrukcji;
- możliwości dekompozycji zapisu i wnioskowania w odniesieniu do jego części;
- uniknięcie problemów numerycznych (wielowymiarowości, zmienności pozycji danych) bez nadmiernej utraty precyzji;
- uwzględnienia odpowiednio dużego zbioru antywzorców do porównania.

O ile modele algebraiczne pozwalają na wskazanie liczbowej wartości reprezentującej podobieństwo do antywzorców, to obciążone są znaczną utratą informacji w trakcie procesu normalizacji oraz dekompozycji struktury konstrukcji. Użycie tego typu obliczeń, wydaje się zasadne przede wszystkim w odniesieniu do cech pochodnych (raczej niż podstawowych), które są wynikiem obliczeń innych modeli.

Znaczną utratę wartościowych informacji opisujących konstrukcję zaobserwować możemy również w modelach opartych o odległość Hamminga. W tym przypadku, zmieniony sposób cyfrowej obróbki wartości cech konstrukcyjnych, pozwala na ujednoczenie sposobu ich interpretacji (istotą obliczeń są różnice a nie symboliczne wartości) jednak nadal nie pozwala na prowadzenie efektywnych obliczeń dla bardziej złożonych zestawów cech konstrukcyjnych.

Model	Cechy bazowe	Normalizacja	Skalowanie	Filtrowanie	Lokalizacja	Obroty	Relacje typu 1	Relacje typu 2	Relacje typu 3	Złożoność liniowa	Typ wyników
CapsNet	✓	✓	✓	✓	✓	✓	✓	✓	×	✓	podobieństwo wzorców
ConvNet	✓	✓	✓	✓	✓	×	✓	✓	×	✓	podobieństwo wzorców
PNN	✓	✓	✓	✓	×	×	✓	✓	×	✓	podobieństwo
Kohonen	✓	✓	✓	×	✓	×	✓	×	×	×	najbliższa cecha
Hamming	×	×	✓	×	×	×	×	×	×	✓	numeryczna odległość
Algebraiczny	×	×	×	×	×	×	×	×	×	×	numeryczna odległość

**Tabela 7.1:** Kluczowe możliwości wybranych modeli numerycznych

Żaden z analizowanych modeli obliczeniowych nie pozwalał na pracę na pełnej, symbolicznej strukturze, jednak największy wpływ na jakość prowadzonych obliczeń



ma dostępność technik numerycznych pozwalających na izolację i precyzyjną selekcję zestawu wartości cech istotnych w kontekście konkretnego rozwiązania konstrukcyjnego. W przypadku obliczeń komputerowych, tylko sieci neuronowe pozwalają na istotne dostosowanie parametrów modelu - pozwalające na efektywne (nie gubiące nadmiernej ilości informacji) zawężenie zakresu obliczeń. Zastosowanie nowoczesnych technik obróbki danych (ruchomego okna konwolucji, routing kapsułowy) pozwala na rozszerzenie możliwości automatycznego przetwarzania danych, jednocześnie redukując wymagania i złożoność wejściowej normalizacji danych.

Brak możliwości zawężenia zakresu analizy (uniknięcie porównania ze sobą wszystkich możliwych kombinacji strukturalnych) prowadzi do wykładniczego wzrostu złożoności i uniemożliwia praktyczne zastosowanie opracowanej metody. Sieci neuronowe, poprzez stworzenie unikalnej, symbolicznej reprezentacji zbioru antywzorców w formie parametrów neuronów i ich warstw - znacznie redukują złożoność obliczeń prowadzonych w trakcie procesu klasyfikacji. Pozwala to na implementację automatycznych systemów wykrywających podobieństwo projektu części mechanicznej do wcześniej zdefiniowanego zbioru antywzorców.

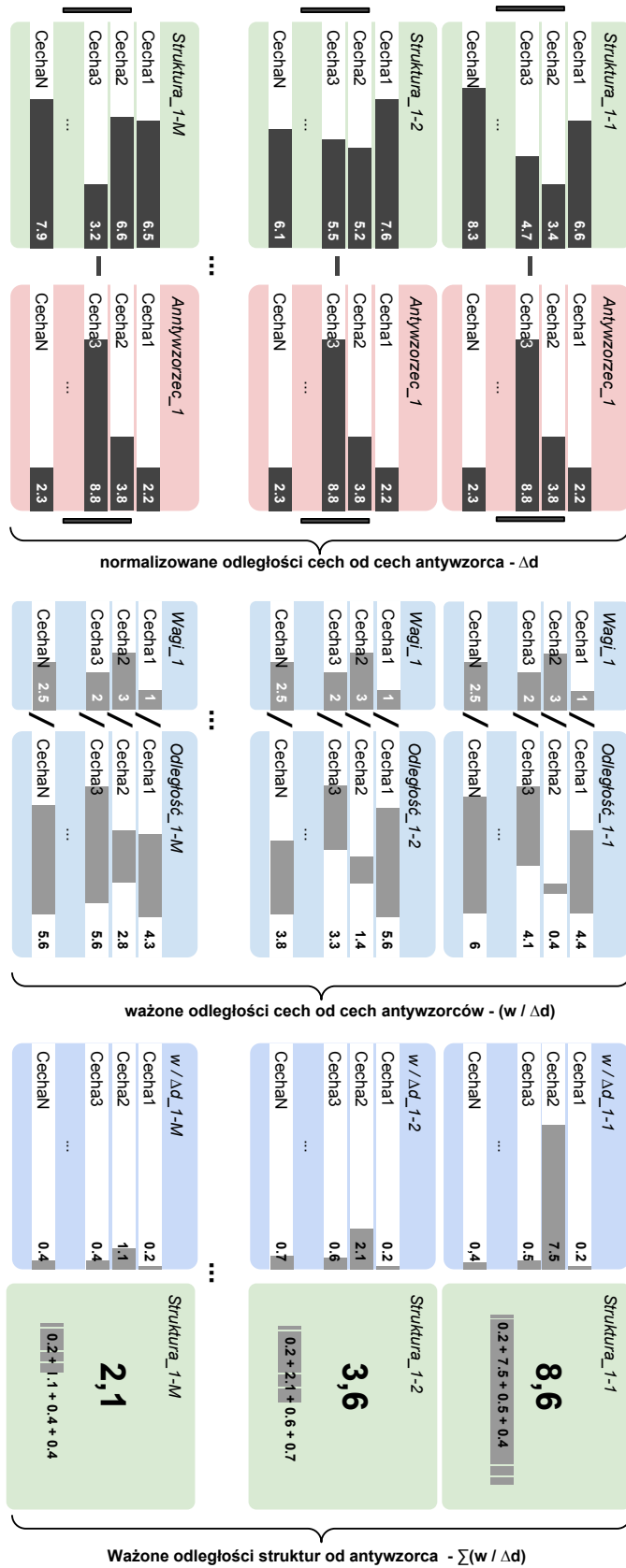
W porównaniu do algebraicznych i algorytmicznych modeli, sieci neuronowe wymagają dodatkowej konfiguracji dostosowującej model i jego warstwy do struktury i zakresu danych wejściowych. Główną zaletą obu wybranych do badań sieci neuronowych, jest umożliwienie elastycznej kompozycji wartości cech konstrukcyjnych. O ile w przypadku sieci probabilistycznych (PNN) nie jest to proces kontrolowany ani lokalizowany, to ConvNet i CapsNet dostarczają szeregu rozwiązań optymalizujących i jednocześnie zwiększających jego efektywność.

## 7.1 Współczynnik zgodności z antywzorcem

Bazowym modelem obliczeniowym użytym w przeprowadzonych badaniach był model sumacyjny, który dla zadanych wag ( $w_n$ ) sumuje ich stosunek do odległości ( $\Delta d_n$ ), pozwalając na obliczenie współczynnika zgodności z antywzorcem ( $A$ ) - odległości testowanego elementu od zbioru antywzorców.

$$A = \sum_{n=1}^k \frac{w_n}{\Delta d_n}; w_n \geq 1; \Delta d_n > 1; \quad (7.1)$$

Wyznaczenie współczynnika zgodności z antywzorcem (rys. 7.1) jako podobieństwa do zbioru  $k$  antywzorców oparte jest o różnicę pomiędzy wartością cechy antywzorcowej i odpowiadającej cechy, przypisanej do testowanego elementu. Każda cecha posiada przypisaną do siebie odpowiednią wartość wagi ( $w_n$ ), zmieniającej wpływ różnic pomiędzy cechami na wartość współczynnika zgodności z antywzorcem.



Rysunek 7.1: Współczynnik zgodności z antywzorcem

Kluczowym czynnikiem wpływającym na precyzję obliczeń z użyciem tej metody jest normalizacja wartości cech konstrukcyjnych (zdefiniowanie granic), ich selekcja (dopasowanie do zbioru antywzorcowych cech) i wzajemne przeskalowanie. Proces normalizacji nie wydaje się możliwy do pełnej automatyzacji ze względu na brak kontekstu interpretacji wartości cech konstrukcyjnych.

Metoda obliczania podobieństwa do antywzorcowych cech (rys. 7.1) obarczona jest znacznym błędem wynikającym z nawarstwiania się różnic w obliczeniach zawierających znaczną ilość antywzorcowych cech. Przyjmując znormalizowany zakres wartości do skali 0..10, nawet istotne różnice w wartościach, po zsumowaniu kilkunastu cech będą miały znaczny wpływ na skalę końcowego wyniku. Można to utrudnienie zredukować wprowadzając dodatkowe obliczenia mające na celu wykrywanie wyników istotnie odbiegających od całości populacji testowanych elementów lub dynamicznie wyznaczając minimalną odległość od antywzorców na podstawie ich ilości ( $k$ ) oraz przypisanych wag ( $w$ ).

Wskazanie subiektywnej jakości elementu, w celu automatycznego porównania ze sobą dwóch elementów pod kątem ich podobieństwa do antywzorców, oparte jest o porównanie ze sobą dwóch współczynników zgodności z antywzorcem  $A$ , lub porównanie go w formie względnej jakości ( $Q$ ) dla ważonego zbioru  $k$  antywzorców jako:

$$Q = \frac{\sum_{n=1}^k w_n}{A} \quad (7.2)$$

Wraz ze zwiększaniem się odległości pomiędzy cechami antywzorców i weryfikowanej konstrukcji ( $\Delta d_n$ ) maleje wartość współczynnika zgodności z antywzorcem  $A$ . Równocześnie, w relacji do zadanych wag, subiektywnie interpretowana jakość testowanego elementu ( $Q$ ) rośnie.

### 7.1.1 Model multiplikacyjny

Poprzez zastąpienie działania sumacyjnego iloczynem, możliwe jest zmodyfikowanie charakteru obliczeń - eliminując narastający w trakcie sumowania błąd (zwiększanie skali wartości wynikowej). Model współczynnika zgodności może przyjąć formę, gdzie wartość wynikowa będzie oscylować w ramach jednej skali wartości i nie będzie obciążona błędem zaobserwowanym w modelu sumacyjnym.

$$A = \prod_{n=1}^k \frac{w_n}{\Delta d_n}; w_n \geq 1; \Delta d_n \geq 1; \quad (7.3)$$

Współczynnik zgodności z antywzorcem pozwala na wskazanie podobieństwa war-

tości cech symbolicznego opisu do znanych błędów. Nie umożliwia jednak automatycznej analizy złożonych części maszyn, gdzie relacje strukturalne definiują istnienie nieprawidłowości. Możliwe jest stworzenie mechanizmu automatycznie oceniającego cechy projektów części mechanicznych ale zakres cech konstrukcyjnych uwzględnionych w tej ocenie jest znacznie ograniczony - wyłącznie do wartości cech. Kolejnym ograniczeniem stosowalności modeli algebraicznych do wskazywania podobieństwa jest potrzeba manualnej normalizacji danych - skalowania i filtrowania wartości.

Wykładniczy charakter złożoności obliczeń tą metodą wynika ze wzrostu ilości antywzorców, wobec których może być testowana struktura oraz ilości cech użytych do ich opisu. Znacznie redukuje to praktyczność metody w której oczekiwany jest wzrost precyzji wraz ze zwiększeniem się obu tych czynników. Dodatkowo, stopień złożoności nawet prostych elementów konstrukcyjnych wymaga opisu z użyciem znacznej ilości wartości cech, co obniża precyzję modeli algebraicznych.

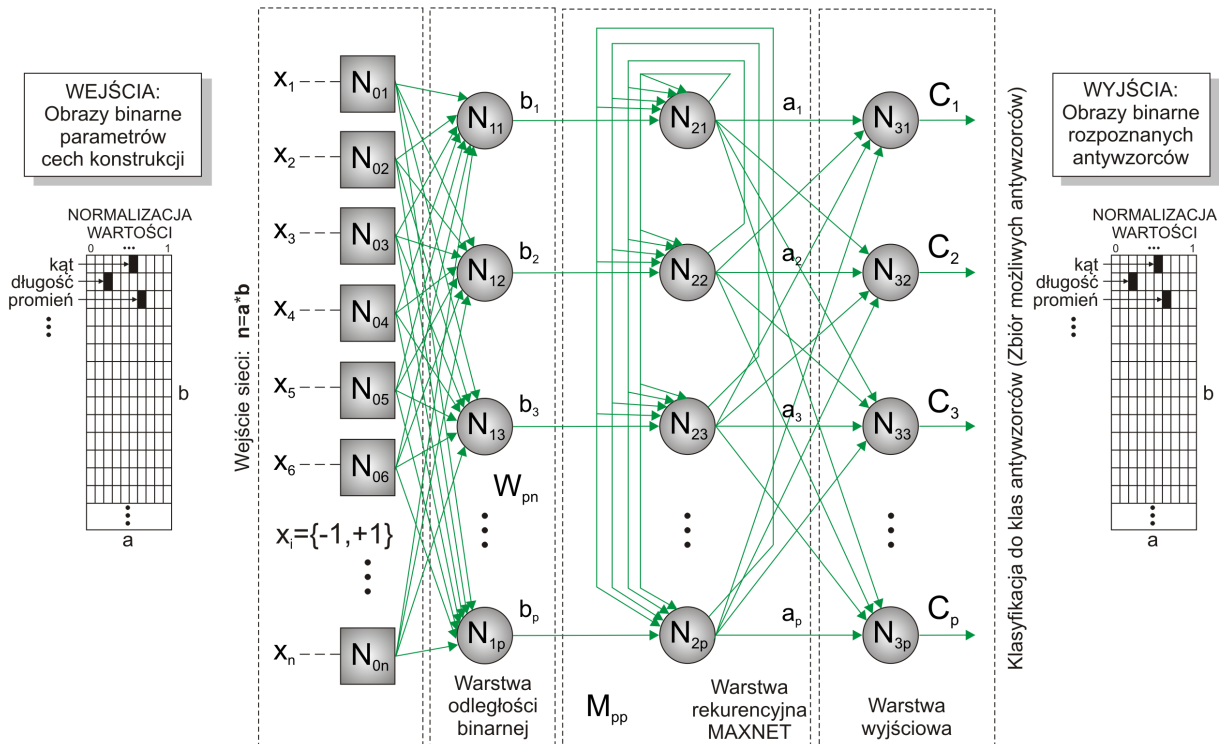
## 7.2 Zmodyfikowana odległość Hamminga

Podjęwając próbę rozwiązania problemów normalizacji wartości cech konstrukcyjnych zaobserwowanych w algebraicznych modelach, zaprojektowano model obliczeniowy z użyciem odległości Hamminga (w zastępstwie odległości Euklidesa). Zmiana sposobu wyznaczania odległości pozwala na uniezależnienie wartości wynikowej od konkretnych cech - uniezależnia model od skali oraz pozwala na symboliczną reprezentację cech konstrukcji mechanicznej.

Proces porównania ilości różnic zaobserwowanych w binarnej reprezentacji wartości cech konstrukcyjnych nie pozwala nadal na analizę relacji strukturalnych. Możliwe jest zaprojektowanie modelu sieci neuronowej używającego zbioru odległości Hamminga do wskazania podobieństwa pomiędzy testowaną strukturą a antywzorcem (rys. 7.2). Jest to rozwiązanie numeryczne pozwalające na automatyczne wskazanie kluczowych różnic zaobserwowanych w binarnych opisach cech konstrukcji.

Głównymi czynnikami ograniczającymi praktyczne zastosowanie sieci Hamminga jest brak możliwości wnioskowania na temat struktury elementów. O ile użycie warstw sieci neuronowych stwarza wystarczający poziom elastyczności algorytmu, to brak możliwości uwzględnienia bazowych wartości cech konstrukcyjnych skupia obliczenia na porównywaniu różnic i wskazywaniu zaobserwowanych w nich odchyień.

Proces wprowadzenia danych opisujących cechy konstrukcyjne do obliczeń, nadal wymaga znacznej i manualnej normalizacji wartości cech oraz wyznaczenia odległości Hamminga. Wartości przekazane do kolejnych warstw sieci nie niosą jednak informacji opisujących zależności strukturalnych występujących pomiędzy cechami opisanej części maszyny. Mimo dostępnych w modelu sieci Hamminga (rys. 7.2) optymaliza-



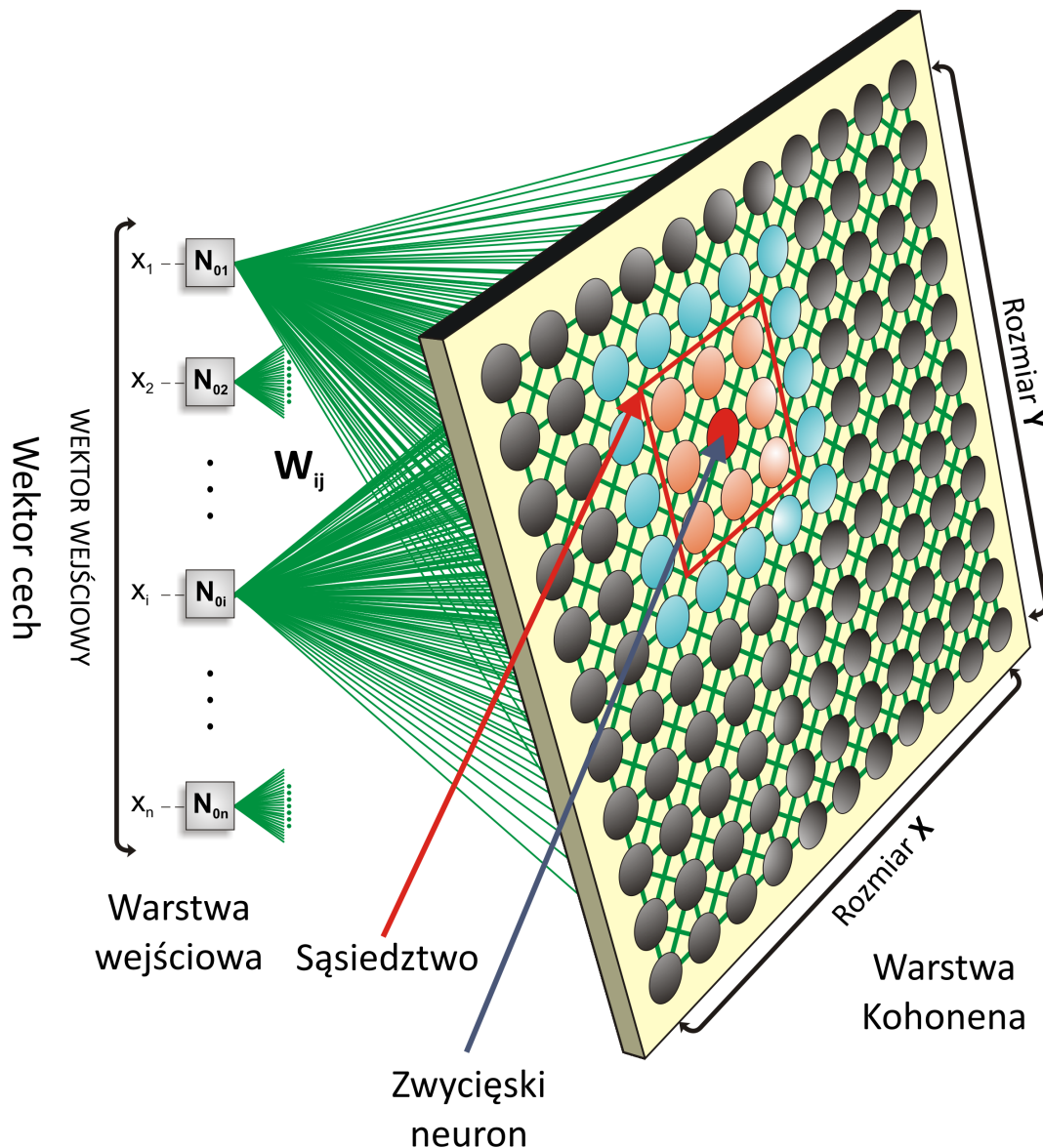
Rysunek 7.2: Schemat sieci Hamminga klasyfikującej cechy konstrukcji

cji złożoności obliczeń, skali danych i automatyzacji wskazania kluczowych różnic, to potrzeba normalizacji wartości i brak wnioskowania opartego o relacje strukturalne, nadal istotnie ograniczają precyzję możliwości wykrycia podobieństwa do antywzorcowych konstrukcji mechanicznych.

### 7.3 Samo-organizujące mapy w ocenie jakości

Kluczowym czynnikiem wyróżniającym samo-organizujące mapy (rys. 7.3) jest wprowadzenie w algorytmie czynnika lokalizacji neuronów odpowiadających punktom na mapie. Lokalizacja ta definiowana jest zarówno poprzez współrzędne (np. dla dwóch wymiarów  $X$  oraz  $Y$ ) jak i poprzez funkcję definiującą zarówno sąsiedztwo neuronów (ich pozycję) jak i odległość pomiędzy elementami mapy. Taka konstrukcja *warstwy obliczeniowej Kohonena* pozwala na wprowadzenie bezpośredniego czynnika strukturalnego do obliczeń przeprowadzanych przez model.

W obliczeniach *odległości Kohonena* wskazywane są dwa najbliższe sobie neurony z dwóch różnych map. Odległość pomiędzy wartościami tych *zwycięskich neuronów* podlega interpretacji odnośnie potencjalnego, nadmiernego zbliżenia (podobieństwa). Możliwe jest również dostosowanie lub wymianę funkcji odległości dla np. nieliczbowych wartości. Pozwala to na przykład na wykrycie obecności antywzorców określo-



**Rysunek 7.3:** Schemat mapowania cech na warstwę sieci Kohonena

nej klasy (np. AM6) w wybranych lokalizacjach mapy symbolicznie reprezentujących zbiór cech konstrukcji mechanicznej.

Głównym ograniczeniem obliczeń podobieństwa do antywzorców z użyciem sieci Kohonena jest ograniczona elastyczność w uwzględnieniu potencjalnie odległych elementów mapy. Możliwe jest zdefiniowanie własnej funkcji wskazującej sąsiedztwo neuronów na mapie, jednak jest to zawsze jedna lokalizacja o zmiennej wielkości co uniemożliwia analizę relacji strukturalnych typu 2 i 3.

Zbudowanie efektywnego systemu komputerowego wskazującego podobieństwo testowanych konstrukcji do znacznej ilości antywzorców, wymaga tworzenia mapy neuronów reprezentującej w pełny sposób każdą z błędnych konstrukcji. Podobnie jak

w przypadku modeli algebraicznych, wzrost ilości antywzorców i ilości cech konstrukcyjnych użytych w opisie znacznie zwiększa zakres i ilość obliczeń nie zwiększając równocześnie ich precyzji.

Wprowadzone w tym modelu rozwiązania algorytmiczne redukują ograniczenia zaobserwowane w prostszych modelach wynikające z potrzeby ręcznej normalizacji i ograniczenia zakresu cech ujętych w analizie. Ze względu na wprowadzenie mechanizmu lokalizacji i dodatkowej funkcji odległości definiującej sąsiedztwo elementów mapy, możliwe jest uwzględnienie w obliczeniach wartości powiązanych (sąsiadujących na mapie) i tym samym objęcie analizą relacji typu 1.

Pomimo tych usprawnień, metoda ta nadal nie jest wystarczająco elastyczna - nie pozwala na analizę relacji pomiędzy obiektami elementarnymi tej samej konstrukcji oraz wymaga ręcznego dostosowania zakresu danych aby uniknąć nadmiernych obliczeń wynikających z potrzeby porównania znacznej ilości map.

## 7.4 Sieci probabilistyczne w ocenie jakości

Jednym z podstawowych modeli sieci neuronowych stosowanych do klasyfikacji danych i wykrywania w nich wzorców jest oparty o wielowarstwową architekturę - modeli sieci probabilistycznej. W referencyjnej formie jest ona oparta o złożenie warstw mapujących wzorce danych i sumujących aktywacje neuronów.

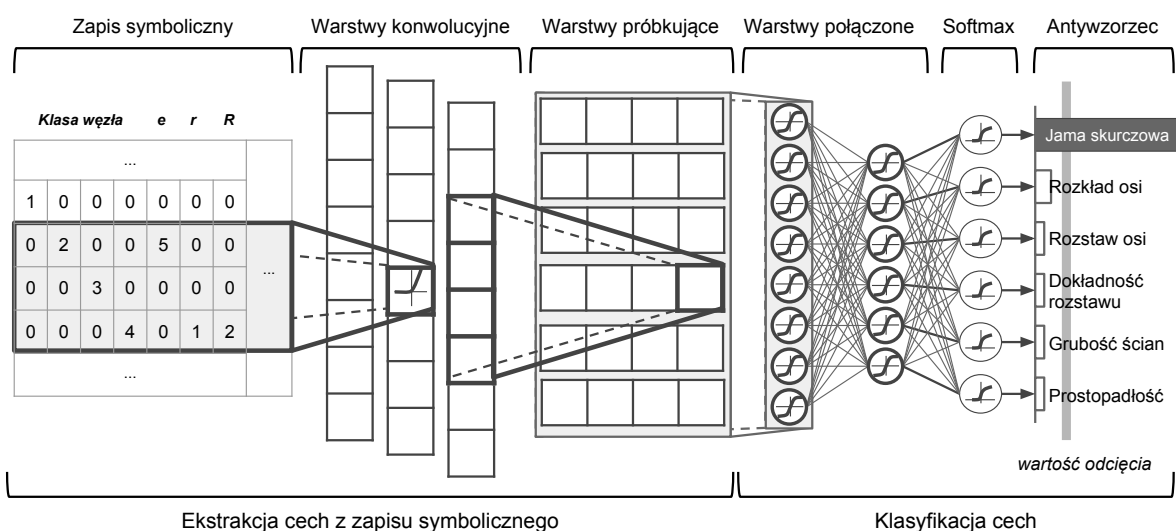
Mapując neurony do poszczególnych cech konstrukcji, możliwe jest podstawowe dostosowanie modelu do struktury danych (w procesie uczenia sieci). Umożliwia to badanie zależności występujących pomiędzy poszczególnymi neuronami, które w całości reprezentują antywzorce i konstrukcje mechaniczne. Aby efektywnie mapować cechy konstrukcji (jednoznacznie identyfikowane w wielu miejscach struktury KXML) należy jednak tworzyć unikalne modele obliczeniowe dostosowane do cech opisujących poszczególne antywzorce. Znacznie zwiększa to ilość obliczeń potrzebnych do wyznaczenia podobieństwa do zbioru antywzorców i ogranicza praktyczność tego modelu. Problem ten jest szczególnie istotny w przypadku analizy złożonych konstrukcji, gdzie przypisanie jednego neuronu do konkretnej cechy nie jest możliwe ze względu na brak kontekstu strukturalnego. Ograniczenie to blokuje możliwość efektywnej analizy konstrukcji zawierających wiele obiektów opisanych z użyciem tej samej cechy. Stosując sieci probabilistyczne do klasyfikacji cech konstrukcji, możliwe jest wykrycie relacji strukturalnych typu 2, jednak tylko w bardzo ograniczonym zakresie konstrukcji - o unikalnych instancjach cech. Znacznie ogranicza to zakres stosowania tej metody obliczeniowej do wykrywania podobieństwa opisów konstrukcji do zbiorów antywzorców reprezentujących znacznie odmienne cechy i relacje strukturalne.

## 7.5 Analiza przydatności sieci konwolucyjnych w ocenie jakości

Celem zastosowania modelu sieci konwolucyjnej (ConvNet) jest umożliwienie wykrywania powtarzających się struktur danych opisujących cechy konstrukcyjne testowanych i antywzorcowych elementów. Modele wykorzystujące sieci ConvNet używane są w wielu zastosowaniach, w szczególności w klasyfikacji obrazów i analizie tekstu. Pozwalają one na analizę występowania wielu podstawowych wzorców w danych z użyciem konwencji, tworząc ustrukturalizowany model poddawany klasyfikacji [30]. Główne zalety modelu opartego o sieci konwolucyjne to:

- uniezależnienie występowania wzorców od konkretnej lokalizacji w opisie, znacznie ułatwiające automatyczną analizę ustrukturalizowanych danych,
- wykrywanie zależności występującymi pomiędzy wieloma lokalizacjami w opisie, umożliwiające wykrywanie relacji strukturalnych drugiego typu.

Niestety w modelu tym brakuje rozwiązań pozwalających na właściwe uwzględnienie informacji zawartej w systemie klasyfikacji poszczególnych obiektów elementarnych tworzących konstrukcję. Aby zminimalizować wpływ tego ograniczenia, użyta zostać może funkcja słownikowa, normalizująca słowną reprezentację klas do formy liczbowej. W ramach technik obliczeniowych dostępnych w modelu ConvNet brakuje jednak możliwości skojarzenia ze sobą tych klas. W celu dalszych optymalizacji, możliwe jest również odpowiednie dostrojenie mechanizmu konwencji do rozdzielenia zakresów informacji strukturalnej i wartości cech.



**Rysunek 7.4:** Schemat mapowania cech konstrukcji z użyciem sieci konwolucyjnej



Aby klasyfikacja danych prowadzona przez sieć neuronową mogła być użyta do wykrywania błędów konstrukcyjnych, wymagane jest powiązanie wyników jej obliczeń z kryteriami jakościowymi. W tym celu zbiór danych użytych do konfiguracji parametrów sieci (uczenia sieci cech i ich wzorców) jest zbiorem antywzorców tworzących (w ramach procesu uczenia sieci) negatywną referencję jakości.

W przypadku prezentowanego modelu (rys. 7.4) jako dane wejściowe, sieć otrzymuje macierz zawierającą wartości cech konstrukcji i symbolicznych danych strukturalnych. Oba te warianty formatu danych pozwalają na aktywację neuronów w oparciu o lokalne wartości cech konstrukcyjnych, które poprzez mechanizm konwolucji i warstwy próbkujące wspierają identyfikację i klasyfikację cech odnalezionych w symbolicznym zapisie konstrukcji.

### 7.5.1 Struktura danych wejściowych

Upraszczając drzewiaste struktury danych formatu KXML do macierzy wartości cech konstrukcyjnych, możemy jedynie w bardzo ograniczonym zakresie wskazać relacje strukturalne poprzez odpowiednie uszeregowanie cech i węzłów strukturalnych.

$$AM7_{m,n} = \begin{bmatrix} 10 & & & & \\ 17 & 40 & & & \\ & & & & \\ & & & & 10 \end{bmatrix}$$

Ze względu na brak danych strukturalnych, nie pozwala to jednak w pełni skorzystać z możliwości kompozycji wzorców wykrytych w różnych miejscach opisu, ani na porównanie tego typu zapisów ze sobą bez dodatkowych działań dekompozycji struktury (np. proponowanych we wcześniejszych modelach). Aby uzupełnić te braki, należy zdefiniować kontekst strukturalny poprzez rozszerzenie macierzy o dodatkowe kolumny definiujące wartości symbolizujące dane opisujące strukturę konstrukcji.

$$AM7_{m,n} = \begin{bmatrix} 1 & & & & & \\ 1 & 2 & & 10 & & \\ 1 & 3 & & 17 & 40 & \\ 1 & 3 & 4 & & & 10 \end{bmatrix}$$

W porównaniu do zapisu antywzorca, którego opis poddany już został minimalizacji, testowane konstrukcje opisane będą z użyciem większej ilości danych. Wiersze macierzy danych symbolizującej konstrukcję odpowiadają poszczególnym węzłom, których hierarchia odzwierciedlona jest w uproszczonej do kilku kolumn formie. Ilość kolumn macierzy odpowiada ilości  $n$  cech konstrukcyjnych a pozycja i ilość analizowanych cech konstrukcyjnych powinna być poddana wcześniejszej normalizacji na

podstawie zdefiniowanego w zapisie KXML drzewa hierarchii leksykalnej klas. Tak zdefiniowany model danych, tworzy uproszczony jedno-wymiarowy zbiór danych zawierający złożony, symboliczny opis struktury cech konstrukcji.

### 7.5.2 Wykrywanie antywzorcowych opisów cech konstrukcji

Referencyjny model ConvNet, proponuje użycie funkcji Softmax do wskazania kluczowych aktywacji (podobnie jak w przypadku modelu sieci Hamminga - rozdz. 7.2). Wskazanie właściwego wzorca wymaga jednak wprowadzenia wcześniej ustalonej *wartości odcięcia*, która pozwala na automatyczne filtrowanie wyników i wskazywanie istnienia nadmiernego podobieństwa do jednego z antywzorców. Niska zmienność wartości wyjściowych obserwowana pomiędzy wieloma typami antywzorców oznacza brak jednoznacznego wskazania podobieństwa. Wynik ten nie powinien obniżać interpretowanej jakości testowanego elementu. Istnieje jednak potrzeba jednoczesnego wskazania wielu istniejących w konstrukcji antywzorców, co utrudnia automatyczną selekcję i klasyfikację opisów projektowych.

Zastosowanie sieci konwolucyjnych jako modelu obliczeniowego do klasyfikacji cech konstrukcji dostarcza nowatorskie narzędzia, odróżniające je od innych wybranych do badań modeli matematycznych. Pozwalają one na wykrywanie wzorców danych i ich wzajemnych relacji w sposób niezlokalizowany - w całym analizowanym pakiecie informacji. Jest to wynikiem użycia zlokalizowanych detektorów wzorców (ruchomego okna konwolucji) i wielowarstwowości modeli numerycznych wykrywających wzorce (kompozycji warstw konwolucyjnych i próbkujących).

Powszechnie stosowane w modelach sieci konwolucyjnych *połączone warstwy* powinny być używane w ograniczonym zakresie. Skutkuje to podwyższonym poziomem możliwości wnioskowania na temat procesu obliczeniowego i wskazanie np. kluczowych elementów (wzorców danych), które zostały wykryte i miały istotny wpływ na wskazane podobieństwo do antywzorców. Warstwy te, pozwalają na łączenie wzorców obserwowanych w różnych miejscach opisów, jednak w przypadku znacznej ilości antywzorców o różnych klasach mogą obniżać precyzję prowadzonych obliczeń.

Główne mankamenty zastosowania modelu ConvNet do wykrywania antywzorców wynikają z braku możliwości analizy relacji leksykalnych oraz tworzenia kontekstów interpretacji (np. konwolucji) w oparciu o dane raczej niż lokalizację w opisie. Istotnym wydaje się również rozszerzenie technik obliczeniowych o mechanizmy pozwalające na automatyczne grupowanie i interpretację cech konstrukcji w oparciu o zdefiniowane modele klasyfikacyjne.

## Rozdział 8

# Wnioski i kierunki rozwoju

Potwierdzone zostały wszystkie z postawionych w pracy badawczej tez. W ramach przeprowadzonych badań udowodniono, że:

1. Ocena konstrukcji elementów maszyn z użyciem modeli neuronowych i antywzorców może być przydatna do weryfikacji poprawności projektowanych elementów bez ograniczania przestrzeni poszukiwań rozwiązań,
2. Opracowanie i zastosowanie antywzorców projektowych we wspomaganie procesów innowacyjnego projektowania, pozwala na redukcję przestrzeni możliwych złych rozwiązań konstrukcyjnych.
3. Zastosowanie opracowanej metodyki zapisywania projektów konstrukcyjnych w postaci symbolicznej (z wykorzystaniem stworzonego, obiektowego języka), pozwala na automatyzowanie procesów projektowania oraz dokonywanie analiz konstrukcji (pod względem zarówno poprawności, spełniania norm i ustalonych kryteriów, jak również optymalności rozwiązań).

Poprzez wskazanie opracowanej metodyki nowych możliwości obliczeniowych pozwalających na uwzględnieniu informacji o strukturze konstrukcji mechanicznych (np. antywzorców), osiągnięty został zdefiniowany w pracy cel: *analizy zasadności i możliwości stosowania antywzorców i modeli neuronowych do wspierania projektowania maszyn*. W szczególności, rozwiązano następujące problemy naukowe:

1. zdefiniowano kryteria klasyfikacji w odniesieniu do funkcji i cech elementu,
2. opracowano metodę badania podobieństwa części maszyn do antywzorców, w oparciu o techniki klasyfikacji danych,
3. przeanalizowano czynniki oraz zależności definiujące wzajemne podobieństwo konstrukcji mechanicznych,

4. dokonano wyboru i normalizacji wielkości wejściowych reprezentujących cechy konstrukcyjne oraz strukturę konstrukcji
5. opracowano metodę oceny poprawności konstrukcji na podstawie jej podobieństwa do zbioru antywzorców.

Poprzez otwarcie zakresu dopuszczalnych prawidłowych konstrukcji oraz możliwość pracy przy niekompletnych danych, ocena jakości konstrukcji elementów maszyn z zastosowaniem antywzorców i sieci neuronowych przedstawia nowe spojrzenie na ocenę jakości konstrukcji mechanicznych.

Jako konkluzja przeglądu dostępnych formatów zapisu konstrukcji mechanicznych oraz zaobserwowanych problemów ich stosowania, opracowany został symboliczny język zapisu cech konstrukcyjnych zwiększający możliwości analizy konstrukcji z użyciem modeli neuronowych. Zapis ten pozwolił na porównanie możliwości zastosowania szeregu modeli obliczeniowych do porównywania konstrukcji mechanicznych z antywzorcami oraz ich subiektywnej oceny opartej on negatywną referencją jakości utworzoną przez zbiór antywzorców.

W zakresie oceny jakości konstrukcji mechanicznych, opracowano i przebadano zastosowania: Współczynnika Zgodności z Antywzorcem, zmodyfikowanej sieci Hamminga, zmodyfikowanej sieci Kohonena, sieci probabilistycznej oraz sieci konwolucyjnej. Z tego zakresu przebadanych modeli, jedynie sieci konwolucyjne bezpośrednio wspierają analizę struktury konstrukcji poprzez odpowiednie dobranie wielkości konwolucji i strukturalnych wzorców (np. wykrywanych poprzez zastosowania filtrów). Szeroki zakres możliwości numerycznego przetwarzania opisu struktury konstrukcji mechanicznych, w szczególności sieci neuronowych, pozwala na tworzenie wielowymiarowych modeli klasyfikacji podobieństwa części maszyn. Klasyfikacja konstrukcji mechanicznych, poprzez określenie podobieństwa do znacznej ilości antywzorcowych elementów, pozwala na wymierną ocenę i porównanie jakości elementów maszyn.

Opracowana metodyka pozwala na wczesne wykrywanie błędów w projektach konstrukcji mechanicznych. Oparta jest ona na numerycznej klasyfikacji symbolicznego zapisu cech konstrukcji z użyciem opracowanego zbioru antywzorców - znanych, nieprawidłowych, powtarzalnych wzorców danych w symbolicznych opisach konstrukcji mechanicznych. Przedstawiono sposób identyfikacji antywzorców oraz ich opisu z użyciem symbolicznego języka KXML, a także metodę inteligentnej oceny jakości konstrukcji umożliwiającą obliczenie podobieństwa testowanego elementu maszyny do zbioru antywzorców. Wskazano również właściwości modeli numerycznych bezpośrednio wspierających analizę struktury konstrukcji mechanicznych.

Możliwość uwzględnienia struktury danych w prowadzonych obliczeniach, w sposób bezpośredni umożliwia analizę istotnych czynników odpowiadających za popraw-

ność konstrukcji - relacji pomiędzy cechami w strukturze, nie tylko wartość pojedynczej cechy (nawet w kontekście struktury).

Oprócz potencjału leżącego w możliwych rozszerzeniach dostosowujących modele samo-organizujących się map cech do analizy cech konstrukcyjnych, warto zwrócić uwagę na unikalny model grupowania neuronów w tzw. kapsuły [107], pozwala on na reprezentację konkretnego typu elementu poddawanego klasyfikacji (np. cech konstrukcyjnych charakteryzujących element maszyny, lub złożenie cech wpływające na jej funkcję). Mając na uwadze zalety modeli neuronowych wynikające z możliwości wykrywania wzorców strukturalnych, zaproponowany mechanizm kapsuł i przesyłu danych może jeszcze bardziej zwiększyć możliwości modeli numerycznych w wykrywaniu antywzorców w projektach konstrukcji maszyn.

## 8.1 Zastosowania opracowanej metodyki

Niniejsza praca ma za zadanie stworzyć podstawy naukowe pozwalające na rozszerzenie istniejących, komputerowych systemów wspierania procesów projektowania elementów maszyn. Zalety płynące z jej zastosowania w praktyce wynikają z możliwości implementacji opracowanych modeli, które w pełni lub częściowo automatyzują ocenę konstrukcji mechanicznych. Możliwe jest stworzenie modułów rozszerzających istniejące systemy CAD/CAM, które w sposób automatyczny mogłyby dokonywać oceny podobieństwa projektowanych konstrukcji z lokalną bazą antywzorców lub rozwiązań prawidłowych. Programy tego typu pozwolą na wyeliminowanie szeregu błędów, zmniejszając czas potrzebny na zaprojektowanie mechanizmu oraz redukując ilość błędów wykrytych dopiero w symulacjach fizycznych.

Istotnym czynnikiem dla powszechnego rozwoju wiedzy jest łatwość w gromadzeniu symbolicznych opisów antywzorców. Stworzony język KXML pozwala na uzupełnienie zapisów wektorowych o dane opisujące strukturę konstrukcji i rozmieszczające w jej ramach cechy. Zapis ten pozwala również na prowadzenie obliczeń przewidujących zachowanie wybranej części mechanizmu. Uniwersalny charakter stworzonego języka (oparcie o XML), pozwala na jego łatwą integrację z istniejącymi systemami informatycznymi i przetwarzanie danych przez niego reprezentowanych. Przeprowadzone badania pozwalają na rozpoczęcie stosowania antywzorców i modeli neuronowych do wykrywania błędów konstrukcyjnych w projektach części maszyn.

Opracowana metodyka pozwala na symboliczną reprezentację wiedzy konstruktorskiej, która może zostać użyta do automatycznej eliminacji znanych błędów konstrukcyjnych z procesu projektowania maszyn. Co istotne, nie ogranicza ona możliwości proponowania nowatorskich rozwiązań konstrukcyjnych, uzupełniając możliwości kreatywne człowieka o moduł inteligentnej oceny konstrukcji.

## 8.2 Stosowalność badanych metod numerycznych

Jako konkluzję możliwości użycia badanych modeli neuronowych należy wskazać na sieci konwolucyjne, które jako jedyny ze zweryfikowanych dotychczas modeli numerycznych, umożliwiają bezpośrednio dostosowanie swoich obliczeń do struktury wielowymiarowych zapisów danych reprezentujących konstrukcje mechaniczne. Algorytmiczne rozszerzenia możliwości sieci konwolucyjnych zwiększają ich przydatność do analizy struktury i cech konstrukcji mechanicznych, w porównaniu do modeli algebraicznych, sieci Hopfieldda, Hamminga, probabilistycznych oraz innych modeli obliczeniowych służących do klasyfikacji wzorców, klastrowania i redukcji wymiarów.

Warto nadmienić, że istnieje możliwość zastosowania antywzorców z użyciem map Kohonena (samo-organizujących się map cech) do klasyfikacji obiektów elementarnych konstrukcji a tym samym wykrywania błędów w elementach maszyn. W tym przypadku wymagane jest jednak tworzenie odmiennych map dla każdego z antywzorców, pozwalających na wykrywanie podobieństwa poprzez odległość od wcześniej przygotowanej mapy cech (reprezentującej błąd konstrukcyjny). Model ten, jest niepraktyczny głównie ze względu na wymaganie stałości lokalizacji na abstrakcyjnej mapie cech konstrukcji. Redukuje to możliwość porównywania różnorodnych strukturalnie konstrukcji. Wydaje się jednak możliwe wprowadzenie dodatkowych rozwiązań algorytmicznych (podobnie jak rozszerzenia sieci neuronowych przez ConvNet i CapsNet), lepiej dostosowujących sieci Kohonena do potrzeb analizy opisów konstrukcji.

Modele obliczeniowe oparte o sieci neuronowe tworzą unikalną szansę na pogłębienie analizy jakości projektowanych konstrukcji mechanicznych. Głównym wyzwaniem stojącym naprzeciw adopcji sieci neuronowych w projektowaniu elementów maszyn jest potrzeba normalizacji i dostosowania danych projektowych (zapisu cech konstrukcyjnych) do możliwości i potrzeb nowoczesnych modeli numerycznych. W porównaniu do modeli algebraicznych czy deterministycznych algorytmów, sieci neuronowe wymagają również dodatkowej konfiguracji dostosowującej możliwości sieci oraz strukturę jej warstw do potrzeb prowadzonych obliczeń.

Zalety stosowania sieci neuronowych do inteligentnej oceny jakości konstrukcji mechanicznych jednoznacznie uwidaczniają się w sieciach konwolucyjnych, gdzie możliwość lokalnego wykrywania cech pozwala na wnioskowanie oparte o dane opisujące strukturę konstrukcji. Wielowarstwowość sieci oraz stosowanie warstw próbkujących umożliwia przetwarzanie relacji zachodzących pomiędzy danymi z całego opisu konstrukcji. Możliwości dostosowywania filtrów używanych przez sieć do uwypuklenia wybranych schematów danych (np. kombinacji cech konstrukcyjnych), pozwala na dodatkowe dostosowanie sieci do potrzeb wykrywania błędów w konstrukcjach mechanicznych. Z drugiej strony, nadmierne stosowanie w pełni połączonych czy próbkujących

jących warstw neuronów zmniejsza możliwości sieci do klasyfikacji złożonych części maszyn lub ich zespołów, konstrukcji.

Postęp w dziedzinie systemów uczących się, rozpoznawania wzorców, redukcji ilości wymiarów użytych do opisu danych, stworzył szansę automatyzacji procesów mających na celu wyeliminowanie powtarzających się błędów (antywzorców) w projektach konstrukcji mechanicznych.

### 8.2.1 Precyzja obliczeń

Niniejsza praca nie odpowiada na pytanie z jaką precyzją dokonywana jest ocena konstrukcji mechanicznych z użyciem opracowanej metody. Jedynie częściowo wynika to z innowacyjności metody - braku innych podobnych modeli do których możliwe byłoby jej porównanie. Ponadto, przeprowadzone prace badawcze ugruntowane są w dziedzinie Mechaniki i Budowy Maszyn, a tworzenie wysoko-wyspecjalizowanych modeli i technik informacyjnych wykracza poza zakres zleconych badań. Dlatego badania oparto wyłącznie na analizie możliwości stosowania antywzorców z użyciem wybranych technik algorytmicznych oraz modeli neuronowych.

### 8.2.2 Analiza struktury konstrukcji

Poszukiwania możliwości i ocena technik wspierających porównywanie elementów maszyn zogniskowane zostały na zmiennej efektywności z jaką uwzględniane są informacje o strukturze konstrukcji mechanicznych. Mechanizmy (w odróżnieniu od zwykłych obiektów fizycznych) wyróżniają się pewną strukturą, kształtem, i celowo (w odniesieniu do spełnianej funkcji) określonymi wartościami cech konstrukcyjnych. W trakcie prowadzonych badań, zaobserwowano znaczną zmienność możliwości obliczeniowych badanych modeli wynikającą z istotnego rozwoju technik komputerowych pozwalających na interpretację ustrukturalizowanych danych.

Proste modele takie jak *Współczynnik zgodności z antywzorcem* czy *Zmodyfikowana odległość Hamminga* pozwalają na obliczenia w oparciu o symboliczny opis cech konstrukcji, jednak nie proponują żadnych rozwiązań ani technik, które umożliwiłyby uwzględnienie informacji o strukturze i rozmieszczeniu analizowanych cech. W efekcie aby modele te były efektywne, muszą być wykorzystywane w pracy wyłącznie na prostych, nisko-wymiarowych danych. Przykładowo, zasadnym wydaje się pominięcie informacji o strukturze, gdy szukamy podobieństwa do prostych antywzorców, wywodzących swoją nieprawidłowość z wartości jednej cechy konstrukcyjnej.

Aby proponowana metodyka mogła być uznana za praktyczną, musi jednak pozwalać na analizę bardziej złożonych części maszyn, a tym samym uwzględniać różnorodność charakteru struktury konstrukcji. Jako podstawowe modele, dostarczające

techniki obejmujące swoim zakresem informacje zawarte w strukturze wyselekcjonowane zostały samo-organizujące się mapy (sieci Kohonen'a) oraz probabilistyczne sieci neuronowe.

Prace badawcze i rozwój technik obliczeniowych opartych o mapy, pozwala na tworzenie wielowymiarowych płaszczyzn danych oraz przeprowadzanie obliczeń określających obszary cechujące się najmniejszą odległością pomiędzy nimi. O ile pozwala to na stosunkowo precyzyjną reprezentację struktury konstrukcji i przeprowadzenie deterministycznych obliczeń, to niska praktyczność tej metody wynika z potrzeby tworzenia unikalnych map dla każdego z możliwych antywzorców. Brakuje również modeli obliczeniowych, które tworzyłyby kontekst analityczny dla danych i pozwalały na analizę relacji np. innych odległości w okolicy zbliżenia map odpowiadających istotnym cechom konstrukcyjnym.

Drugi z wybranych, referencyjnych modeli neuronowych - sieci probabilistyczne, cechują się wysokim poziomem uniwersalności i pozwalają na klasyfikację i wykrywanie prostych wzorców w danych. Niestety nie pozwalają one na automatyczną dekompozycję danych wejściowych, a tym samym wykrywanie relacji zachodzących pomiędzy różnymi częściami konstrukcji. Sieci probabilistyczne tworzą swoistą podstawę możliwości porównywania ustrukturalizowanych informacji opisujących konstrukcje mechaniczne przez sieci neuronowe. Nie proponują one jednak żadnych technik pozwalających na analizę pełnej struktury konstrukcji.

Dopiero w modelach sieci konwolucyjnych odnaleziono pierwsze sposoby uwzględnienia w obliczeniach pełnego zakresu relacji występujących w strukturach części mechanicznych. Obarczone są one jeszcze dużymi ograniczeniami, jednak zaobserwowano jednoznaczne zalety płynące z wprowadzonych w modelu rozwiązań (okna konwolucji, filtrów). Dalszy rozwój prac w dziedzinie technik informacyjnych np. nad routinguem kapsułowym pozwala sądzić, że w przyszłości możliwe będzie zastosowanie kilku różnych modeli obliczeniowych, które w pełni uwzględnią będą informacje o strukturze konstrukcji.

### 8.3 Ograniczenia opracowanej metodyki

Stosowanie antywzorców, nawet w nieskończonej ilości (pozwalającej na uniknięcie wszelkich błędów konstrukcyjnych w danej części mechanicznej) nie wyeliminuje rozwiązań bezsensownych, lub fundamentalnie błędnych. Tym samym, opracowana metodyka nie pozwala na stwierdzenie, że konkretna część maszyny jest *dobra*. Możliwe jest jedynie stwierdzenie, że jest ona *podobna do antywzorca - znanego, złego rozwiązania*.

Stosując opracowaną metodykę do oceny zbioru rozwiązań, możemy dokonać porównania wyników oceny dwóch (lub więcej) części maszyn, i ocenić ich jakość w od-



niesieniu do siebie nawzajem. Porównanie to ograniczone jest jednak jedynie do podobieństwa do znanych antywzorców, nie wskazując faktycznej użyteczności ani jakości z jaką element realizuje przypisaną mu funkcję. Ze względu na ograniczoną precyzję wyników obliczeń sieci neuronowych, nie jest jeszcze możliwe wymierne przypisanie podobieństwa do znacznej ilości klas, a tym samym stworzenie wspólnej podstawy do porównań elementów o znacznie odmiennej konstrukcji.

## 8.4 Zwiększenie możliwości transferu i integracji wiedzy

Jedną z głównych zalet wynikających z komputerowego wsparcia procesów projektowania maszyn, jest przyspieszenie i obniżenie kosztu transferu informacji opisujących konstrukcje mechaniczne. Poprzez stworzenie symbolicznego języka zapisu cech konstrukcji, badania te przyczyniają się do zwiększenia zakresu informacji konstrukcyjnych, które mogą być komunikowane z użyciem technik komputerowych.

Zaobserwowane relacje pomiędzy cechami konstrukcyjnymi obiektów elementarnych występujące w kontekście struktury mechanizmu, są istotnym i nowatorskim czynnikiem zwiększającym możliwości zawarcia wiedzy konstruktorskiej w zastosowaniach komputerowych.

### 8.4.1 Biblioteka cech konstrukcyjnych

W trakcie prowadzonych badań, uwidoczniła się możliwość zwiększenia integralności tworzonych modeli poprzez przyjęcie wspólnego standardu dla definicji cech konstrukcyjnych. W ramach stworzonego symbolicznego języka zapisu konstrukcji, nawiązano do tej możliwości, pozwalając na jawne zadeklarowanie definicji cech.

Oczywistym wydaje się, że stworzenie i uwzględnienie w obliczeniach komputerowych zbioru powtarzalnych cech konstrukcyjnych, pozwoli na dalsze pogłębienie analizy przez przekazanie komputerom dodatkowej wiedzy eksperckiej. Ograniczony rozmiar zbioru cech konstrukcyjnych wskazuje granicę poznawczą komputerów i zakres dostępności wiedzy o konstrukcjach mechanicznych w przestrzeni informacyjnej.

### 8.4.2 Biblioteka antywzorców

Podkreślić warto rolę i przyszłe znaczenie powszechnie dostępnych zbiorów antywzorców. Dostępność tego typu informacji, w połączeniu z technologią pozwalającą na praktycznie natychmiastową komunikację, przynosi znaczne korzyści, pozwalając na tani dostęp do zbioru uniwersalnej wiedzy eksperckiej.

Jako główną konkluzję dotyczącą grupowania antywzorców, należy wskazać potrzebę zachowania informacji o funkcji realizowanej przez antywzorcową konstrukcję. Funkcja ta, w prowadzonych badaniach posłużyła jako podstawa do stworzenia modelu klasyfikacji obiektów elementarnych tworzących strukturę konstrukcji. Wydaje się zasadnym, zreplikować to podejście przy budowaniu większych zbiorów antywzorcowych projektów konstrukcji mechanicznych. Konkludując, tworzona w przyszłości biblioteka antywzorców powinna być oparta o trzy podstawowe elementy:

- rysunek techniczny - zapis wektorowy pozwalający na wymierną reprezentację wartości cech konstrukcyjnych;
- opis słowny - wskazujący źródło i konsekwencje nieprawidłowości, przypisaną elementowi funkcję oraz nadający ramy struktury konstrukcji w odniesieniu do rysunku technicznego;
- komputerowy opis konstrukcji - symboliczny opis cech i struktury np. KXML.

## 8.5 Kluczowe cechy modeli klasyfikacyjnych

Przyjęty model klasyfikacyjny oparty jest na leksykalnej klasyfikacji części mechanicznych, używanej przez projektantów maszyn. Mimo oczywistych różnic wynikających z językowych uwarunkowań, ludzie w sposób naturalny nazywają mechanizmy w bezpośrednim odniesieniu do funkcji przez nie spełnianych (np. wkręt).

Dodatkowe modele klasyfikujące mechanizmy, są zwyczajowo bardziej szczegółowe i bezpośrednio dotyczą określonych cech i własności konstrukcji z nimi związanych (np. siła udźwigu). W tych przypadkach uniwersalność wynikająca ze stosowania klasyfikacji opartej o funkcję elementu, jest rozszerzana o współczynnik jej spełnienia. Może on zostać użyty do ustalenia wartości oczekiwanego wyniku realizacji zadanej funkcji mechanizmu i tym samym - oceny jego jakości.

### 8.5.1 Niejawność informacji w opisie rysunkowym i słownym

Przeprowadzone badania były inspirowane wcześniejszymi pracami badawczymi w obszarze wnioskowania na temat zachowania konstrukcji mechanicznych i komputerowej reprezentacji wiedzy eksperckiej o konstrukcjach mechanicznych. Wyraźnie widoczna jest różnica w obecnym postrzeganiu i sposobach analizy opisów części maszyn, wynikająca z przesunięcia większości prac konstrukcyjnych i kontrolnych do przestrzeni informacyjnej. Różnice te wynikają również z braku odpowiednich metod

interpretacji projektów mechanicznych, dostępnych wciąż wyłącznie dla ludzi. Ciągłe, jako ludzie odnajdujemy informacje w rysunkowym przedstawieniu konstrukcji mechanicznej, nawet jeżeli brakuje w niej jakichkolwiek wymiernych wartości.

Badania analizujące ten zakres wiedzy mogą pozwolić na dalsze pogłębienie zrozumienia procesów mających miejsce w trakcie analizy prowadzonej przez doświadczonych konstruktorów maszyn. Wydaje się, że integracja modeli klasyfikacyjnych na podstawie funkcji realizowanej przez dany obiekt elementarny, pozwala na przeniesienie i ponowne wykorzystywanie niejawnych informacji zawartych w symbolicznej klasie części (np. przeznaczenia i oczekiwanych efektów). Mimo tego, prowadzone prace badawcze nie uwzględniały analiz z obszaru technik informacyjnych, a tym samym, nie analizowano zakresu niejawnych informacji ukrytych w rysunku technicznym czy słownym opisie konstrukcji.

### 8.5.2 Nieukłidesowe odległości w ocenie podobieństwa

W trakcie prowadzonych prac nad stworzeniem kryteriów podobieństwa cech konstrukcyjnych, pojawił się problem wyboru metody określania tożsamości podobieństwa klas użytych do klasyfikacji elementów maszyn wg. ich funkcji. Ze względu na przyjętą metodykę pracy nie było konieczne tworzenie i analizowanie innych sposobów określania podobieństwa pomiędzy klasami części mechanicznych niż weryfikacja ich równości. Możliwe jest jednak zastąpienie tego uproszczenia nieukłidesowym modelem odległości, np. wykorzystaną w innym kontekście odległością Hamminga, czy z lepiej przystosowaną do pracy z tekstem odległością Levenshtein'a.

Weryfikacja możliwości wynikających z interpretowania podobieństwa pomiędzy użytymi klasami obiektów elementarnych, oprócz zbadania podstawowych relacji leksykalnych wynikających z syntetycznych obliczeń na ciągach znaków, powinna też uwzględniać metody wnioskowania rozmytego, a interpretować relacje występujące pomiędzy elementami hierarchii klas elementów. Interesującym wydaje się zbadanie i opracowanie mapy wiedzy konstruktorskiej, pozwalającej na umożliwienie komputerem przekroczenie kolejnej bariery w interpretacji i zrozumieniu obiektów elementarnych z których zbudowane są konstrukcje mechaniczne.

# Bibliografia

- [1] A. Alfieri i P. Brandimarte. Object-oriented modeling and simulation of integrated production/distribution systems. *Computer Integrated Manufacturing Systems*, 10(4):261 – 266, 1997. ISSN 0951-5240.
- [2] R. Anderl i R. Mendgen. Modelling with constraints: theoretical foundation and application. *Computer-Aided Design*, 28(3):155 – 168, 1996. ISSN 0010-4485. Artificial Intelligence in Computer-Aided Design.
- [3] *DXF Reference - AutoCAD 2008*. Autodesk Inc., 2007.
- [4] Z. Banaszak i L. S. Jampol'skij. *Komputerowo wspomagane modelowanie elastycznych systemów produkcyjnych*. Elastyczne Systemy Produkcyjne. Wydawnictwa Naukowo-Techniczne, 1991. ISBN 978-8-320-41178-2.
- [5] H. G. Barrow. Verify: A program for proving correctness of digital hardware designs. *Qualitative Reasoning About Physical Systems*, strony 437 – 491. Elsevier, Amsterdam, 1984. ISBN 978-0-444-87670-6.
- [6] M. Bazewicz. *Metody i techniki reprezentacji wiedzy w projektowaniu systemów*. Politechnika Wrocławska, 1994. ISBN 978-8-370-85076-0.
- [7] D. D. Bedworth, M. R. Henderson, i P. Wolfe. *Computer-integrated Design and Manufacturing*. Industrial engineering and management science. McGraw-Hill, 1991. ISBN 978-0-070-04204-9.
- [8] E. M. Benavides. *Advanced Engineering Design: An Integrated Approach*. Woodhead Publishing in mechanical engineering. Elsevier Science, 2011. ISBN 978-0-857-09504-6.
- [9] C. M. Bishop. *Pattern Recognition and Machine Learning*. Springer, 2009. ISBN 978-0-387-31073-2.
- [10] D. Bobrow. *Qualitative Reasoning about Physical Systems*. Elsevier Science, 2012. ISBN 978-0-444-59921-6.
- [11] D. G. Bobrow i T. Winograd. An overview of krl, a knowledge representation language. *Cognitive Science*, 1(1):3 – 46, 1977. ISSN 0364-0213.
- [12] H. Bock. *Automatische Klassifikation: theoret. u. prakt. Methoden z. Gruppierung u. Strukturierung von Daten (Cluster-Analyse)*. *Studia mathematica* Göttingen. Vandenhoeck & Ruprecht, 1974. ISBN 978-3-525-40130-9.
- [13] E. C. Botha, E. Barnard, i C. J. Barnard. Feature-based classification of aerospace radar targets using neural networks. *Neural Networks*, 9(1):129 – 142, 1996. ISSN 0893-6080.

- 
- [14] R. J. Brachman i H. J. Levesque. *Knowledge Representation and Reasoning*. Morgan Kaufmann Publishers, 2004. ISBN 978-1-55860-932-7.
- [15] W. Brown, H. McCormick, i S. Thomas. *AntiPatterns in Project Management*. Wiley computer publishing. Wiley, 2000. ISBN 978-0-471-36366-8.
- [16] W. J. Brown, R. C. Malveau, H. W. M. III, T. J. Mowbray, i J. Wiley. *AntiPatterns. Refactoring Software, Architectures, and Projects in Crisis*. WNT, 2006. ISBN 8-320-43133-6.
- [17] S. K. Chandrasegaran, K. Ramani, R. D. Sriram, I. Horváth, A. Bernard, R. F. Harik, i W. Gao. The evolution, challenges, and future of knowledge representation in product design systems. *Computer-Aided Design*, 45(2):204 – 228, 2013. ISSN 0010-4485. Solid and Physical Modeling 2012.
- [18] J. C. Damski i J. S. Gero. A logic-based framework for shape representation. *Computer-Aided Design*, 28(3):169 – 181, 1996. ISSN 0010-4485. Artificial Intelligence in Computer-Aided Design.
- [19] E. Davis. A framework for qualitative reasoning about solid objects. *Readings in Qualitative Reasoning About Physical Systems*, strony 603 – 609. Morgan Kaufmann, 1990. ISBN 978-1-4832-1447-4.
- [20] R. Davis. Diagnostic reasoning based on structure and behavior. *Qualitative Reasoning About Physical Systems*, strony 347 – 410. Elsevier, Amsterdam, 1984. ISBN 978-0-444-87670-6.
- [21] J. de Kleer. Multiple representations of knowledge in a mechanics problem-solver. *Readings in Qualitative Reasoning About Physical Systems*, strony 40 – 45. Morgan Kaufmann, 1990. ISBN 978-1-4832-1447-4.
- [22] J. de Kleer. The origin and resolution of ambiguities in causal arguments. *Readings in Qualitative Reasoning About Physical Systems*, strony 624 – 630. Morgan Kaufmann, 1990. ISBN 978-1-4832-1447-4.
- [23] J. de Kleer i D. G. Bobrow. Qualitative reasoning with higher-order derivatives. *Readings in Qualitative Reasoning About Physical Systems*, strony 127 – 132. Morgan Kaufmann, 1990. ISBN 978-1-4832-1447-4.
- [24] J. de Kleer i J. S. Brown. A qualitative physics based on confluences. *Qualitative Reasoning About Physical Systems*, strony 7 – 83. Elsevier, Amsterdam, 1984. ISBN 978-0-444-87670-6.
- [25] W. J. Donovan, edytor. *Simple Sabotage Field Manual*. Office of Strategic Services, Styczeń 1944.
- [26] J.-L. Dormoy i O. Raiman. Assembling a device. *Readings in Qualitative Reasoning About Physical Systems*, strony 306 – 311. Morgan Kaufmann, 1990. ISBN 978-1-4832-1447-4.
- [27] *Standard ECMA-363*. ECMA International, wydanie 4, Czerwiec 2007. Universal 3D File Format.
- [28] M. Erwig i E. Walkingshaw. Semantics-driven dsl design. Raport techniczny, Oregon State University, 2012.
- [29] B. Faltings. Qualitative kinematics in mechanisms. *Readings in Qualitative Reasoning About Physical Systems*, strony 568 – 574. Morgan Kaufmann, 1990. ISBN 978-1-4832-1447-4.
- [30] C. Farabet, C. Couprie, L. Najman, i Y. LeCun. Learning hierarchical features for scene labeling. *IEEE Transactions on Pattern Analysis and Machine Intelligence*, Sierpień 2013.

- [31] Q. Fei-wei, L. ye Li, S. ming Gao, X. ling Yang, i X. Chen. A deep learning approach to the classification of 3d cad models. *Journal of Zhejiang University SCIENCE C*, 15(2):91–106, Luty 2014. ISSN 1869-196X.
- [32] M. Feld. *Projektowanie i automatyzacja procesów technologicznych części maszyn*. Podręczniki Akademickie: Mechanika. Wydawnictwa Naukowo-Techniczne, 1994. ISBN 978-8-320-41830-9.
- [33] K. D. Forbus. Qualitative process theory. *Qualitative Reasoning About Physical Systems*, strony 85 – 168. Elsevier, Amsterdam, 1984. ISBN 978-0-444-87670-6.
- [34] K. D. Forbus. Qualitative physics: Past, present, and future. *Readings in Qualitative Reasoning About Physical Systems*, strony 11 – 39. Morgan Kaufmann, 1990. ISBN 978-1-4832-1447-4.
- [35] K. D. Forbus. Qualitative process theory. *Readings in Qualitative Reasoning About Physical Systems*, strony 178 – 219. Morgan Kaufmann, 1990. ISBN 978-1-4832-1447-4.
- [36] K. D. Forbus. The qualitative process engine. *Readings in Qualitative Reasoning About Physical Systems*, strony 220 – 235. Morgan Kaufmann, 1990. ISBN 978-1-4832-1447-4.
- [37] K. D. Forbus. Interpreting observations of physical systems. *Readings in Qualitative Reasoning About Physical Systems*, strony 441 – 450. Morgan Kaufmann, 1990. ISBN 978-1-4832-1447-4.
- [38] J. Gawlik i A. Kiełbus. *Metody i narzędzia w analizie jakości wyrobów*. Wydawnictwo Politechniki Krakowskiej, 2008. ISBN 978-83-7242-465-5.
- [39] J. Gawlik, J. Śladek, A. Ryniewicz, M. Kowalski, i A. Gaska. Wielofunkcyjna ocena jakości urządzeń technologicznych i wyrobów. *Inżynieria Maszyn*, R. 15, z. 3:20–34, 2010.
- [40] J. Gawlik, D. Kostrzewa, i S. Skoczypiec. Modelowanie struktury geometrycznej powierzchni z zastosowaniem sieci neuronowych. *Mechanik*, R. 85, nr 8-9:714–716, 2012.
- [41] A. Gelsey. Automated reasoning about machine geometry and kinematics. *Readings in Qualitative Reasoning About Physical Systems*, strony 580 – 591. Morgan Kaufmann, 1990. ISBN 978-1-4832-1447-4.
- [42] P. Gendarz, A. Gwiazda, i L. Kroll. Algorithmic method of constructional features selection of the module system of hydraulic cylinders utilized in national mining industry. *Proceedings of the 14th International Scientific Conference: Computer Aided Engineering*, strony 191–198, Cham, 2019. Springer International Publishing. ISBN 978-3-030-04975-1.
- [43] M. R. Genesereth. The use of design descriptions in automated diagnosis. *Qualitative Reasoning About Physical Systems*, strony 411 – 436. Elsevier, Amsterdam, 1984. ISBN 978-0-444-87670-6.
- [44] A. Gessner, R. Staniek, i T. Bartkowiak. Determination of minimal machining allowances in iron castings. *Advances in Manufacturing Science and Technology*, 38(3):21–32, 2014. ISSN 0137-4478.
- [45] A. Gessner, R. Staniek, i T. Bartkowiak. Computer-aided alignment of castings and machining optimization. *Proceedings of the Institution of Mechanical Engineers, Part C: Journal of Mechanical Engineering Science*, 229(3):485–492, 2015. doi: 10.1177/0954406214536380.

- 
- [46] I. Gilboa. *Theory of Decision under Uncertainty*. Cambridge University Press, 2009. ISBN 978-0-521-51732-4.
- [47] C. Grabowik, K. Kalinowski, i Z. Monica. Metoda wspomagania zapisu konstrukcji i technologii w koncepcji zintegrowanego systemu przygotowania produkcji wybranej grupy korpusów. *Achievements in mechanical and materials engineering. Proceedings of the 12th international scientific conference.*, wolumen 1, strony 351–354, Grudzień 2003. ISBN 978-8-391-44589-5.
- [48] W. Greska, V. Franke, i M. Geiger. Classification problems in manufacturing of sheet metal parts. *Computers in Industry*, 33(1):17 – 30, 1997. ISSN 0166-3615. Learning in Intelligent Manufacturing Systems.
- [49] M. Grzelka i M. Rucki. Analysis of the accuracy of the gears' measurement with the cmm. *Measurement Science Review*, wolumen 3, 2003.
- [50] A. Gwiazda. *Metody badania podobieństwa postaci konstrukcyjnej elementów maszyn z zastosowaniem sieci neuronowej*. Praca doktorska, Politechnika Śląska, 1997.
- [51] W. Hamscher, L. Console, i J. De Kleer. *Readings in Model-based Diagnosis*. Morgan Kaufmann Publishers, 1992. ISBN 9781558602496.
- [52] P. Holland, P. Standring, H. Long, i D. Mynors. Feature extraction from step (iso 10303) cad drawing files for metalforming process selection in an integrated design system. *Journal of Materials Processing Technology*, 125-126:446 – 455, 2002. ISSN 0924-0136.
- [53] J. J. Hopfield. Neural networks and physical systems with emergent collective computational abilities. *Proceedings of the National Academy of Sciences USA, Biophysics*, 79:2554–2558, Maj 1982.
- [54] ISO 10303-242:2014. Industrial automation systems and integration — product data representation and exchange — part 242: Application protocol: Managed model-based 3d engineering. Standard, International Organization for Standardization, Geneva, CH, Grudzień 2014.
- [55] Y. Iwasaki i H. A. Simon. Causality in device behavior. *Readings in Qualitative Reasoning About Physical Systems*, strony 631 – 645. Morgan Kaufmann, 1990. ISBN 978-1-4832-1447-4.
- [56] M. Januszka. *Metoda wspomagania projektowania i konstruowania z zastosowaniem „poszerzonej rzeczywistości”*, wolumen 147 w *Zeszyty*. Politechnika Śląska, Instytut Podstaw Konstrukcji Maszyn, Gliwice, 2012.
- [57] L. Joskowicz. Shape and function in mechanical devices. *Readings in Qualitative Reasoning About Physical Systems*, strony 575 – 579. Morgan Kaufmann, 1990. ISBN 978-1-4832-1447-4.
- [58] L. Joskowicz. Simplification and abstraction of kinematic behaviors. *Readings in Qualitative Reasoning About Physical Systems*, strony 597 – 602. Morgan Kaufmann, 1990. ISBN 978-1-4832-1447-4.
- [59] W. Kacalak i M. Majewski. New intelligent interactive automated systems for design of machine elements and assemblies. *ICONIP 2012, Part IV. LNCS*, wolumen 7666, strony 115–122. Springer, Heidelberg, 2012.
- [60] W. Kacalak, M. Majewski, i Z. Budniak. Koło ślimakowe przekładni bezluzowej. Patent nr 227171 z dnia 24.05.2017. Urząd Patentowy RP, Warszawa 2017.

- [61] W. Kacalak, A. Tuchołka, i M. Majewski. Normalization of structural features as a method of structure manufacturability evaluation. *IV International Scientific-Technical Conference – Manufacturing 2014*, Grudzień 2014.
- [62] W. Kacalak, M. Majewski, i Z. Budniak. Intelligent automated design of machine components using antipatterns. *Lecture Notes in Computer Science*, wolumen 9375, strony 248–255, 2015.
- [63] W. Kacalak, M. Majewski, K. D. Stuart, i Z. Budniak. Interactive systems for designing machine elements and assemblies. *Management and Production Engineering Review*, 6:21–34, Wrzesień 2015.
- [64] W. Kacalak, M. Majewski, i A. Tuchołka. Intelligent assessment of structure correctness using antipatterns. *International Conference on Computational Science and Computational Intelligence*, strony 559–564, Grudzień 2015.
- [65] W. Kacalak, M. Majewski, i Z. Budniak. Analysis of similarities between structural features of designed machine elements and corresponding antipatterns. *Manufacturing 2014*, strony 135–142, 2016.
- [66] W. Kacalak, M. Majewski, i A. Tuchołka. A method of object-oriented symbolical description and evaluation of machine elements using antipatterns. *Journal of Machine Engineering*, 16(4):46–69, 2016.
- [67] A. Karpathy. Cs231n convolutional neural networks for visual recognition, 2017.
- [68] K. Kawaguchi, L. P. Kaelbling, i Y. Bengio. Generalization in deep learning, 2017.
- [69] R. Knosala i T. Piłot. Dynamiczna klasyfikacja elementów maszyn z zastosowaniem sieci neuronalnych. *X Konferencja nt. "Metody i środki projektowania wspomaganego komputerowo"*, wolumen 1, strony 263–270, 1995.
- [70] R. Knosala i G. Ćwikła. Zastosowanie sieci sematycznych do opisu cech konstrukcyjno-technologicznych elementów maszyn. *Materiały X Jubileuszowej Konferencji Metody i Środki Projektowania Wspomaganego Komputerowo*, strony 247–254, 1996.
- [71] A. Koenig. Patterns and antipatterns. *Journal of Object-Oriented Programming*, 8:46–48, Marzec-Kwiecień 1995.
- [72] A. Koenig. The patterns handbooks. rozdz. Patterns and Antipatterns, strony 383–389. Cambridge University Press, New York, NY, USA, 1998. ISBN 0-521-64818-1.
- [73] T. Kohonen. Self-organized formation of topologically correct feature maps. *Biological Cybernetics*, 43:59–69, 1982.
- [74] R. Konasala. *Zastosowania metod sztucznej inteligencji w inżynierii produkcji*. Wydawnictwa Naukowo-Techniczne, 2002. ISBN 978-8-320-42767-7.
- [75] B. Kuipers. Commonsense reasoning about causality: Deriving behavior from structure. *Qualitative Reasoning About Physical Systems*, strony 169 – 203. Elsevier, Amsterdam, 1984. ISBN 978-0-444-87670-6.



- 
- [76] B. Kuipers. Qualitative simulation. *Readings in Qualitative Reasoning About Physical Systems*, strony 236 – 260. Morgan Kaufmann, 1990. ISBN 978-1-4832-1447-4.
- [77] B. Kuipers. *Qualitative Reasoning: Modeling and Simulation with Incomplete Knowledge*. Artificial intelligence. MIT Press, 1994. ISBN 978-0-262-11190-4.
- [78] B. Kuipers i C. Chiu. Taming intractible branching in qualitative simulation. *Readings in Qualitative Reasoning About Physical Systems*, strony 261 – 267. Morgan Kaufmann, 1990. ISBN 978-1-4832-1447-4.
- [79] H. K. Kwan i Y. Cai. A fuzzy neural network and its application to pattern recognition. *IEEE Transactions on Fuzzy Systems*, 2, Sierpień 1994.
- [80] W. W. Lee i B. J. Kuipers. Non-intersection of trajectories in qualitative phase space: A global constraint for qualitative simulation. *Readings in Qualitative Reasoning About Physical Systems*, strony 268 – 272. Morgan Kaufmann, 1990. ISBN 978-1-4832-1447-4.
- [81] H. J. Levesque i G. Lakemeyer. *The Logic of Knowledge Bases*. MIT Press, 2000. ISBN 978-0-26212-232-0.
- [82] H.-Y. M. Liaoyy, H.-L. Hungy, C.-J. Szez, S.-J. Linz, W.-C. Liny, i K.-C. Fanz. Cascade fuzzy adaptive hamming net a coarse to fine representation scheme for object recognition. Raport techniczny, Grudzień 1995.
- [83] R. Lippmann, B. Gold, i M. Malpass. A comparison of hamming and hopfield neural nets for pattern classification. Raport techniczny, Massachusetts Institute of Technology, Maj 1987.
- [84] J. Long. Software reuse antipatterns. *SIGSOFT Software Engineering Notes*, wolumen 4, strony 68–76, July 2001.
- [85] W. Lotze i F. Haertig. *3D gear measurement by CMM*, wolumen 34, strony 333–344. WIT Press, 2001.
- [86] B. G. Luisa. *Artificial Intelligence in Engineering Design: Volume II: Models of Innovative Design, Reasoning About Physical Systems, And Reasoning About Geometry*. Elsevier Science, 2012. ISBN 978-0-323-13996-0.
- [87] M. Mavrovouniotis i G. Stephanopoulos. Formal order-of-magnitude reasoning in process engineering. *Readings in Qualitative Reasoning About Physical Systems*, strony 323 – 336. Morgan Kaufmann, 1990. ISBN 978-1-4832-1447-4.
- [88] Z. Mazur, J. Obrzud, i A. Stawowy. Zastosowanie algorytmu genetycznego w grupowaniu wyrobów. *Mechanika*, 15(2):205–211, 1996.
- [89] K. McHenry i P. Bajcsy. An overview of 3d data content, file formats and viewers. Raport techniczny, University of Illinois at Urbana-Champaign, 2008.
- [90] Z. Monica. *Integracja zapisu konstrukcji i technologii wybranej grupy korpusów metod obiektów elementarnych*. Praca doktorska, 2002.
- [91] P. Nielsen. A qualitative approach to mechanical constraint. *Readings in Qualitative Reasoning About Physical Systems*, strony 592 – 596. Morgan Kaufmann, 1990. ISBN 978-1-4832-1447-4.

- [92] T. Nishida i S. Doshita. Reasoning about discontinuous change. *Readings in Qualitative Reasoning About Physical Systems*, strony 278 – 283. Morgan Kaufmann, 1990. ISBN 978-1-4832-1447-4.
- [93] M. Pajor, K. Marchelek, i A. Bodnar. Badania symulacyjne nieliniowego procesu skrawania przy frezowaniu walcowo-czołowym - część ii: symulacje komputerowe. *Zeszyty Naukowe Katedry Mechaniki Stosowanej / Politechnika Śląska*, z. 20:325–332, 2003.
- [94] M. Pajor, T. Okulik, K. Marchelek, i M. Chodźko. Badania własności dynamicznych układów korpusowych obrabiarek w procesie projektowo-konstrukcyjnym. *Modelowanie Inżynierskie*, T. 4, nr 35:85–92, 2008.
- [95] J. F. Pane i B. A. Myers. Usability issues in the design of novice programming systems. Raport techniczny, Sierpień 1996.
- [96] T. Parr. *Language Implementation Patterns. Create Your Own Domain-Specific and General Programming Languages*. Pragmatic Bookshelf, 2010. ISBN 978-1-93435-645-6.
- [97] A. Pasko i V. Adzhiev. Function-based shape modeling: Mathematical framework and specialized language. *Automated Deduction in Geometry*, strony 132–160, Berlin, Heidelberg, 2004. Springer Berlin Heidelberg. ISBN 978-3-540-24616-9.
- [98] A. Pasko, V. Adzhiev, A. Sourin, i V. Savchenko. Function representation in geometric modeling: concepts, implementation and applications. *The Visual Computer*, 11:429–446, Sierpień 1995.
- [99] J. Pearl. *Probabilistic reasoning in intelligent systems: Networks of Plausible Inference*. Morgan Kaufmann Publishers, 1988. ISBN 978-1-558-60479-7.
- [100] P. Penkała. Wykorzystanie systemów cad/cam w procesie przygotowania produkcji. *Pomiary Automatyka Robotyka*, 2:147–150, 2012.
- [101] T. Piłot. *Zastosowania sieci neuronalnych w technologii grupowej elementów maszyn*. Praca doktorska, Politechnika Śląska, 2000.
- [102] K. Pondo. *Wykorzystanie sieci ART do klasyfikacji elementów maszyn*. Praca doktorska, Politechnika Śląska, 1997.
- [103] A. Quarteroni, F. Saleri, i P. Gervasio. *Scientific Computing with MATLAB and Octave*. Springer, 2014. ISBN 978-3-642-45366-3.
- [104] O. Raiman. Order of magnitude reasoning. *Readings in Qualitative Reasoning About Physical Systems*, strony 318 – 322. Morgan Kaufmann, 1990. ISBN 978-1-4832-1447-4.
- [105] C. Rieger i M. Grinberg. The declarative representation and procedural simulation of causality in physical mechanisms. *Readings in Qualitative Reasoning About Physical Systems*, strony 617 – 623. Morgan Kaufmann, 1990. ISBN 978-1-4832-1447-4.
- [106] I. Rojek, M. Kowal, i R. Staniek. Sieci neuronowe mlp do kompensacji odkształceń termicznych śrub toczonej obrabiarek cnc. *Studies Proceedings of Polish Association for Knowledge Management*, 79:204–213, 2016. ISSN 2451-4543.

- 
- [107] S. Sabour, N. Frosst, i G. E. Hinton. Dynamic routing between capsules. *arXiv:1710.09829v1*, Październik 2017.
- [108] M. Sabourin i A. Mitiche. Modeling and classification of shape using a kohonen associative memory with selective multiresolution. *Neural Networks*, 6:275 – 283, 1993. ISSN 0893-6080.
- [109] E. Sacks. Hierarchical reasoning about inequalities. *Readings in Qualitative Reasoning About Physical Systems*, strony 344 – 349. Morgan Kaufmann, 1990. ISBN 978-1-4832-1447-4.
- [110] S. E. Schaeffer. Graph clustering. *Computer Science Review*, strony 27–64, 2007.
- [111] R. Simmons. “commonsense” arithmetic reasoning. *Readings in Qualitative Reasoning About Physical Systems*, strony 337 – 343. Morgan Kaufmann, 1990. ISBN 978-1-4832-1447-4.
- [112] A. Skoć, J. Spatek, i S. Markusik. *Podstawy konstrukcji maszyn: Zarys dynamiki i tribologii, elementy podatne, wały i osie maszynowe, łożyska ślizgowe i toczne, sprzęgła i hamulce*, wolumen 2. Wydawnictwa Naukowo-Techniczne, 2008. ISBN 978-83-2043-405-7.
- [113] P. Struss. Global filters for qualitative behaviors. *Readings in Qualitative Reasoning About Physical Systems*, strony 273 – 277. Morgan Kaufmann, 1990. ISBN 978-1-4832-1447-4.
- [114] P. Sugar, J. Sugarova, i M. Kolnik. Technology-based sheet metal classification and coding system. wolumen 36, Styczeń 2011. doi: 10.2478/v10211-011-0005-0.
- [115] W. Tarnowski i S. Bartkiewicz. *Modelowanie matematyczne i symulacja komputerowa dynamicznych procesów ciągłych*. Politechnika Koszalińska, 2004. ISBN 8-387-42463-3.
- [116] W. Tarnowski i L. Kukielka. *Modelowanie systemów*. Politechnika Koszalińska, 2004. ISBN 8-373-65052-0.
- [117] W. Tarnowski, T. Kiczkowiak, B. Siwek, i G. Świdorski. *Podstawy projektowania technicznego*. Wydawnictwa Naukowo Techniczne, 1997. ISBN 83-20421-65-9.
- [118] B. Żółtkowski. *Badania dynamiki maszyn*. ATR, 2002. ISBN 978-8-391-61983-4.
- [119] B. Żółtkowski, M. Łukasiewicz, i T. Kałaczyński. *Techniki informatyczne w badaniach stanu maszyn*. Wydawnictwa Uczelniane Uniwersytetu Technologiczno-Przyrodniczego w Bydgoszczy, 2012.
- [120] C. Tong i D. Sriram. *Artificial Intelligence in Engineering Design: Models of innovative design, reasoning about physical systems, and reasoning about geometry*. Artificial Intelligence in Engineering Design. Academic Press, 1992. ISBN 978-0-126-60562-4.
- [121] L.-W. Tsai. *Mechanism Design: Enumeration of Kinematic Structures According to Function*. Mechanical Engineering Series. CRC Press, 2001. ISBN 978-1-420-05842-0.
- [122] E. C.-K. Tsao, J. C. Bezdek, i N. R. Pal. Fuzzy kohonen clustering networks. *Pattern Recognition*, 27:757 – 764, 1994. ISSN 0031-3203.
- [123] A. Tuchołka, M. Majewski, i W. Kacalak. Zorientowany obiektowo, symboliczny zapis cech, relacji i struktur konstrukcyjnych. *Inżynieria Maszyn*, 1:112–120, 2015.

- [124] A. Tuchołka, M. Majewski, W. Kacalak, i Z. Budniak. A method for intelligent quality assessment of a gearbox using antipatterns and convolutional neural networks. *Advances in Intelligent Systems and Computing*, strony 57–68, Cham, 2018. Springer International Publishing.
- [125] A. Tuchołka, M. Majewski, W. Kacalak, i Z. Budniak. Comparison of numerical models used for automated analysis of mechanical structures. *Computational and Statistical Methods in Intelligent Systems*, strony 341–352, Cham, 2019. Springer International Publishing. ISBN 978-3-030-00211-4.
- [126] A. Tuchołka, M. Majewski, W. Kacalak, i Z. Budniak. Quality assessment using antipatterns in machine building and operations. *Innovations Induced by Research in Technical Systems*, strony 1–12, Cham, 2020. Springer International Publishing. ISBN 978-3-030-37566-9.
- [127] A. Tuchołka, M. Majewski, W. Kacalak, i Z. Budniak. A method for applying antipatterns and neural networks to automate detection of errors in designs of mechanical constructions. *Innovations Induced by Research in Technical Systems*, strony 130–138, Cham, 2020. Springer International Publishing. ISBN 978-3-030-37566-9.
- [128] V. V. Vazirani. *Algorytmy aproksymacyjne*. Wydawnictwa Naukowo-Techniczne, 2005. ISBN 8-320-42977-3.
- [129] D. S. Weld. Comparative analysis. *Readings in Qualitative Reasoning About Physical Systems*, strony 397 – 416. Morgan Kaufmann, 1990. ISBN 978-1-4832-1447-4.
- [130] D. S. Weld i J. de Kleer. *Readings in Qualitative Reasoning About Physical Systems*. Morgan Kaufmann Publishers, 1990. ISBN 1-55860-095-7.
- [131] D. S. Weld i J. de Kleer. Introduction to mathematical aspects of qualitative reasoning. *Readings in Qualitative Reasoning About Physical Systems*, strony 285 – 287. Morgan Kaufmann, 1990. ISBN 978-1-4832-1447-4.
- [132] D. S. Weld i J. de Kleer. Introduction to other styles of reasoning. *Readings in Qualitative Reasoning About Physical Systems*, strony 395 – 396. Morgan Kaufmann, 1990. ISBN 978-1-4832-1447-4.
- [133] D. S. Weld i J. de Kleer. Introduction to automating quantitative analysis. *Readings in Qualitative Reasoning About Physical Systems*, strony 451 – 452. Morgan Kaufmann, 1990. ISBN 978-1-4832-1447-4.
- [134] D. S. Weld i J. de Kleer. Introduction to multiple ontologies and automated modeling. *Readings in Qualitative Reasoning About Physical Systems*, strony 481 – 483. Morgan Kaufmann, 1990. ISBN 978-1-4832-1447-4.
- [135] D. S. Weld i J. de Kleer. Introduction to qualitative simulation. *Readings in Qualitative Reasoning About Physical Systems*, strony 83 – 87. Morgan Kaufmann, 1990. ISBN 978-1-4832-1447-4.
- [136] H. Werthner. *Qualitative Reasoning: Modelling and the Generation of Behavior*. Springer Vienna, 1994. ISBN 978-3-211-82579-2.
- [137] B. C. Williams. Temporal qualitative analysis: Explaining how physical systems work. *Readings in Qualitative Reasoning About Physical Systems*, strony 133 – 177. Morgan Kaufmann, 1990. ISBN 978-1-4832-1447-4.

- [138] B. C. Williams. Minima a symbolic approach to qualitative algebraic reasoning. *Readings in Qualitative Reasoning About Physical Systems*, strony 312 – 317. Morgan Kaufmann, 1990. ISBN 978-1-4832-1447-4.
- [139] I. H. Witten, E. Frank, i M. A. Hall. *Data Mining. Practical Machine Learning Tools and Techniques*. Morgan Kaufmann Publishers, 2011. ISBN 978-0-123-74856-0.
- [140] F. Yu, Z. Lu, H. Luo, i P. Wang. *Three-Dimensional Model Analysis and Processing*. Advanced Topics in Science and Technology in China. Springer Berlin Heidelberg, 2011. ISBN 978-3-642-12651-2.
- [141] Y. Zhou, H. Cheng, i J. X. Yu. Graph clustering based on structural/attribute similarities. *International Conference on Very Large Data Bases*, Sierpień 2009.

# Streszczenie

W ramach przeprowadzonych prac badawczych udowodniono zasadność stosowania antywzorców i modeli neuronowych do wspierania projektowania maszyn. Wynika ona z utworzenia negatywnej referencji jakościowej, która pozwala na znaczne ograniczenie przestrzeni złych rozwiązań konstrukcyjnych, nie tworząc ograniczeń w przestrzeni rozwiązań prawidłowych.

Wyniki przeprowadzonych prac badawczych pozwalają na implementację aplikacji i modułów programowych, pozwalających na użycie antywzorców i modeli neuronowych do wsparcia procesu projektowania elementów maszyn. Główną zaletą wynikającą z wdrożenia opracowanej metody jest redukcja czasu potrzebnego na wykrycie usterki w projektowanej konstrukcji. Powszechne zastosowanie koncepcji antywzorców dostarcza szeregu, globalnych korzyści wynikających z symbolicznego zapisu wiedzy konstruktorskiej reprezentowanej przez antywzorcowe. Informacje o antywzorcowych cechach części mechanicznych zawarte w symbolicznej, poddającej się analizie formie, pozwalają na wczesne wykrycie oraz systematyczne eliminowanie znacznej ilości błędów konstrukcyjnych.

Opublikowana została seria siedmiu anglojęzycznych artykułów oraz jeden artykuł w polskojęzycznym wydawnictwie naukowym. Publikacje opisują definicję antywzorców i ich zastosowania do oceny konstrukcji mechanicznych oraz opracowany symboliczny język zapisu cech konstrukcji KXML. Tym samym, stworzone zostały podstawy naukowe dla potrzeb badania roli i możliwości stosowania antywzorców.

W ramach rozprawy doktorskiej, w 1. rozdziale wskazane są obserwacje i konkluzje wynikające z przeprowadzonej analizy literatury (141 pozycji) z obszarów: interaktywnych procesów projektowania maszyn; metod numerycznych i ich zastosowań do analizy porównawczej i problematyki oceny jakości konstrukcji mechanicznych.

W 2. rozdziale, wskazany został cel prac badawczych, problemy naukowe wymagające rozwiązania, zdefiniowane tezy oraz opisane zostały kluczowe założenia i czynniki definiujące przeprowadzone badania. Zdefiniowany został również zakres i oczekiwane rezultaty pracy badawczej.

W 3. rozdziale podsumowana została przeprowadzona analiza teoretyczna - zdefiniowana została koncepcja antywzorcowy, model klasyfikacyjny dla obiektów elementar-

---

nych konstrukcji oraz wskazano istotne cechy i ograniczenia istniejących symbolicznych formatów zapisów.

W 4. rozdziale opisana została opracowana metoda identyfikacji antywzorców oraz wskazany został pierwszy na świecie zbiór antywzorców konstrukcji mechanicznych zawierający 17 antywzorców opisanych słownie, przy pomocy rysunku technicznego oraz zapisu symbolicznego.

W 5. rozdziale opisana została opracowana metoda symbolicznego zapisu cech konstrukcji, składnia języka KXML - słowa kluczowe, struktura, sposób reprezentacji relacji i cech konstrukcyjnych oraz sposób przetwarzania danych w formacie KXML.

W 6. rozdziale opisana została opracowana metoda oceny konstrukcji elementów maszyn, w szczególności wskazany został sposób normalizacji cech i ich struktury.

W 7. rozdziale rozpatrzone zostały kluczowe czynniki numerycznej analizy cech konstrukcji mechanicznych z użyciem wybranych do badań modeli numerycznych: sumacyjnego (Współczynnik Zgodności z Antywzorcem, z rozszerzeniem do wersji multiplikacyjnej); algorytmicznych: zmodyfikowanej odległości Hamminga i mapy Kohonena; oraz sieci neuronowych (probabilistycznej i konwolucyjnej).

W 8. rozdziale wskazane zostały wnioski i konkluzje wynikające z przeprowadzonych badań. Należy podkreślić, że techniki wprowadzone w nowych modelach neuronowych (ConvNet, CapsNet) pozwalają na automatyczną analizę danych z uwzględnieniem części informacji strukturalnych obecnych w symbolicznym zapisie KXML. Wskazane zostały również ograniczenia opracowanej metodyki (brak możliwości potwierdzenia poprawności konstrukcji) oraz zalety wynikające ze znacznego zwiększenia możliwości transferu i utrwalania wiedzy konstruktorskiej poprzez zastosowanie KXML do tworzenia biblioteki antywzorców.

# Abstract

This research proves the usefulness of applying antipatterns and neural networks to support the process of design of machine parts. This conclusion arises from construction of a negative quality reference, that allows to greatly reduce the solution space of bad mechanical part designs, without limiting the set of correct solutions.

The outcomes of this research enable implementation of software applications and modules, allowing use of antipatterns and neural models to support the process of designing machine parts. Main benefit arising from implementing the proposed method is the reduction of time required to detect a mistake in the design of a mechanical construction. Additionally, a widespread application of the antipattern concept provides several, global benefits through the symbolic representation of constructor's knowledge in antipatterns. Information about antipattern features of mechanical parts contained in a symbolic, analytical form, allows to detect mistakes early and systematically eliminate large amounts of errors in mechanical designs.

Published articles (seven in English and one in Polish) describe the definition of antipatterns, their applications in assessment of machine constructions, and promote created symbolical language KXML - used to represent constructor's knowledge. Therefore, the scientific fundamentals for analysing the role and ability to apply antipatterns have been created.

In the doctoral dissertation, the 1st chapter points out the observations and conclusions from the analysis of literature (141 positions) in the scope of: interactive machine design processes; numerical methods and their applications in comparative analysis; issues and problems of quality assessment.

The 2nd chapter defines the goal of the research work, scientific problems that have to be solved, defined theses, and a description of key assumptions and factors defining conducted research. It also defines the scope and expected results of the research work.

The 3rd chapter summarizes conducted theoretical analysis: defining the concept of the antipattern; classification model for elementary parts of the constructions, and highlights the key features and limitations of existing data representation formats.

The 4th chapter describes the method of identifying antipatterns and presents the first in the world set of antipattern mechanical constructions containing 17 antipatterns



described lexically, using technical drawings, and a symbolic representation.

The 5th chapter describes the created method of symbolic representation of construction's features; the syntax of the KXML language - keywords, structure, method for representing relations and construction's features; a method for processing the data stored in KXML format.

The 6th chapter describes the created method of assessing quality of mechanical designs, in particular the approach to the normalisation of feature and structural data.

The 7th chapter contains a review of key factors and capabilities of numerical analysis of construction's features using numerical models selected for the research: summation (Antipattern Matching Factor) possibly enhanced with multiplication; algorithmic: modified Hamming distance and Kohonen maps; neural networks (probabilistic and convolutional).

The 8th chapter highlights the findings and conclusions arising from conducted research. It is important to emphasize that the techniques introduced in modern neural models (ConvNet, CapsNet) allow for automated data analysis using some of the structural information present in the symbolic representation - KXML. It also describes the limitations of created methodology (lack of ability to confirm the correctness of the construction) and the benefits arising from a substantial increase in the ability to transfer and preserve the knowledge of a human constructor by using KXML to create a library of antipatterns.