

POLITECHNIKA WARSZAWSKA

Wydział Samochodów i Maszyn Roboczych

AUTOREFERAT
ROZPRAWY DOKTORSKIEJ

mgr inż. Jarosław Pruszyński

Reprezentacja, składowanie i zarządzanie wiedzą w projektowaniu
konceptyjnym

Promotor:
prof. dr hab. inż. Jerzy Pokojski

Warszawa 2021

Spis treści

1	Wprowadzenie.....	2
1.1	Teza rozprawy	2
1.2	Motywacja	2
1.3	Wkład autora.....	3
1.4	Problem badawczy.....	3
2	Zadanie badawcze	5
2.1	Charakterystyka przedsiębiorstwa i zadań projektowych	5
2.2	Metody badawcze	5
2.3	Zarys historii rozwoju narzędzi komputerowych do zarządzania wiedzą – przypadek opisywanej firmy.....	6
3	System wspomagający koncepcyjną fazę procesu projektowania zadania badawczego ...	7
3.1	Proponowane rozwiązania	7
3.2	Zaimplementowane funkcjonalności.....	10
4	Ocena i dyskusja.....	12
5	Podsumowanie	14
	Literatura	15

1 Wprowadzenie

W rozprawie przedstawiono próbę realnego, przemysłowego, inżynierskiego modelowania wiedzy wykorzystywanego w niewielkim przedsiębiorstwie projektującym i budującym linie produkcyjne. Autor skupia się na etapie projektowania koncepcyjnego [Pokojski, Oleksiński, Pruszyński, 2019a], [Pokojski, Oleksiński, Pruszyński, 2019b], [Pokojski, Oleksiński, Pruszyński, 2017], [Pokojski, Oleksiński, Pruszyński, 2015], [Pokojski, Oleksiński, Pruszyński, 2013a], [Pokojski, Oleksiński, Pruszyński, 2013b], jego funkcjonowaniu, rozwoju wiedzy osobistej oraz zespołowej wraz z jej ewolucyjnymi kontekstami, tle wiedzy i korzeniach wiedzy [Andreasen, Hansen, Cash, 2015], [Cross, Cross, 1996], [Kroll, 2013], [Ponn, Lindemann, 2008], [Frere, Dron, 2013]. Badania były prowadzone i zweryfikowane w biurze konstrukcyjnym wspomnianego partnera przemysłowego. Zaproponowane podejście opiera się na modelowaniu wiedzy inżynierskiej, metodach sztucznej inteligencji oraz wieloletnich badaniach nad rozwojem klasy narzędzi komputerowych zwanej inteligentnym osobistym asystentem projektanta [Pokojski, 2004], [Pokojski, 2005], [Pokojski, Niedziółka, 2005], [Pokojski, 2006a], [Pokojski, 2006b], [Pokojski, Cichocki, 2007a], [Cichocki, Pokojski, 2001]. Przedstawione w dalszej części koncepcje i przykłady oprogramowania oraz jego funkcjonowanie są wynikiem około 10 letniej współpracy autora ze wspomnianym przedsiębiorstwem.

1.1 Teza rozprawy

Możliwe jest opracowanie formalizmów strukturyzacji oraz programistycznej reprezentacji zasobów wiedzy projektowej powstającej w koncepcyjnej fazie procesu projektowego oraz zastosowanie ich w narzędziach wspomagania komputerowego przeznaczonych do gromadzenia i eksploracji zasobów tej wiedzy. Zastosowanie takich narzędzi powinno spowodować skrócenie czasu realizacji koncepcyjnej fazy rozwoju projektu.

1.2 Motywacja

Aktualnie w trakcie rozwoju produktów stale zwiększa się uwagę poświęconą koncepcyjnemu etapowi projektowania ze względu na jego bardzo duży wpływ na kolejne etapy procesów projektowych. Powszechnie uznanym jest stwierdzenie, iż decyzje podejmowane na etapie

konceptyjnym mają bardzo duży wpływ na finalne koszty produktu. Poważnym problemem przy projektowaniu koncepcyjnym jest to, iż w tematycznej literaturze opisano wiele metod, jednakże nie ma powszechnie używanych narzędzi komputerowych wspierających te procesy. Da się zaobserwować niski poziom integracji modeli i narzędzi. Projektowanie wymaga wykonania wielu czynności projektowych, jak również wykorzystania i przetwarzania wielu rodzajów wiedzy. Realnie większość z aktywności w koncepcyjnej fazie projektowania jest przeprowadzana bez wspomagających, dedykowanych narzędzi komputerowych, natomiast wykorzystuje się personalne zasoby projektantów/grupy projektantów, w których wiedza jest rozproszona i nieskategoryzowana, często przechowywana jedynie w pamięci członków zespołu. Doświadczenia autora związane z zarządzaniem działem konstrukcyjnym także wskazują, iż w niektórych przypadkach prowadzi to do niespójności bądź pomijania istotnych elementów.

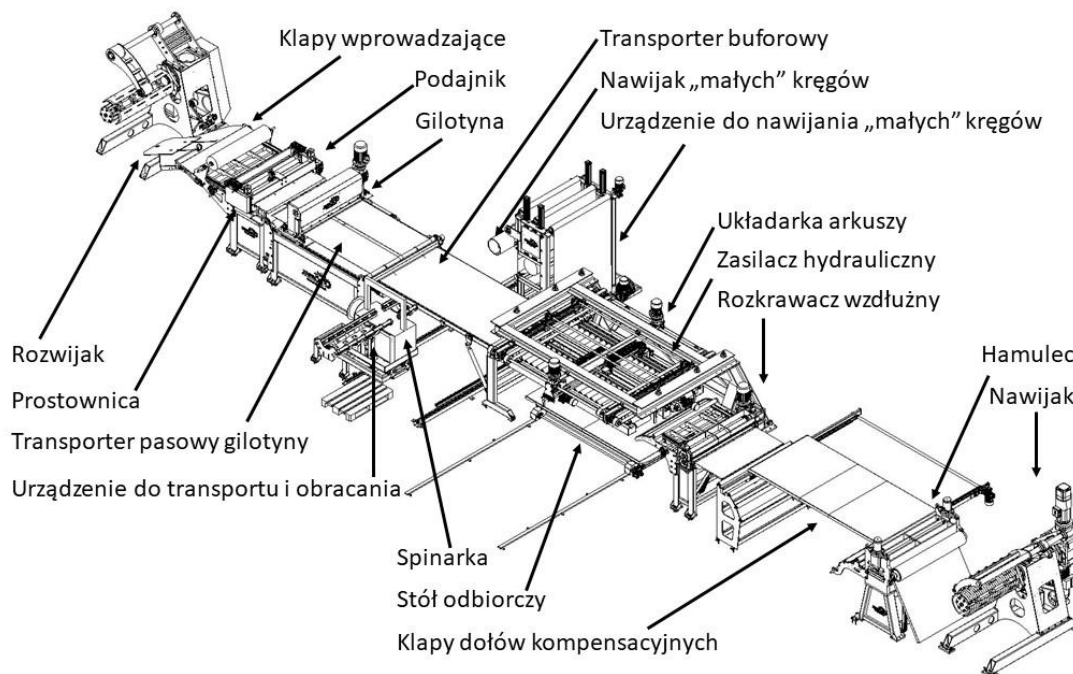
1.3 Wkład autora

Pierwsze doświadczenia autora mające wpływ na aktualną działalność badawczą sięgają początku lat 2000-nych. Wówczas był on członkiem kilku studenckich zespołów, które realizowały projekty informatyczne dla partnerów przemysłowych. W trakcie przygotowywania pracy magisterskiej uczestniczył w budowie systemu KBE do automatycznej generacji modeli 3D i dokumentacji wykonawczej dla producenta budowlanych konstrukcji stalowych. Oprogramowanie to z upływem czasu ewoluowało do komercyjnego systemu używanego do dnia dzisiejszego. Obecnie, oprócz prac przy tworzeniu oprogramowania, autor jest także zaangażowany w procesy wdrażania nowych rozwiązań z dziedziny zarządzania projektami, a także projektowania oraz budowy maszyn i linii produkcyjnych; jest liderem zespołu projektowego (w wyżej wspomnianej firmie), który testował i weryfikował proponowane w dalszej części pracy rozwiązania informatyczne.

1.4 Problem badawczy

Obecna sytuacja rynkowa zmusza producentów maszyn i linii produkcyjnych do zapewnienia, aby ich produkty były ściśle dostosowane do wymagań klientów [André i inni, 2017], [Bossen i inni, 2017], [Bracewell i inni, 2009], [Wang, Johnson, Bracewell, 2012], [Pokojski, Oleksiński, Pruszyński, 2019a], [Pokojski, Oleksiński, Pruszyński, 2019b], [Johansson, Elgh, 2017], [Levandowski, Jiao, Johansson, 2015]. Dlatego też w ostatnich latach obserwuje się, iż

koszt projektowania wyżej wymienionych urządzeń staje się coraz większym udziałem w koszcie produktu końcowego. Jest to szczególnie widoczne w przypadku małych firm, które zajmują się produkcją jednostkową urządzeń projektowanych i budowanych ściśle według wytycznych klienta. W przypadku wyrobów o wysokim stopniu dostosowania do potrzeb klienta, proces projektowania rozpoczyna się już w momencie otrzymania zapytania ofertowego. Przygotowanie wyceny ofertowej wymaga stworzenia wstępnego projektu koncepcyjnego. Taki projekt, musi być opracowany przy zachowaniu stosunkowo wysokiego poziomu dokładności. Osiągnąć to należy poprzez zaprojektowanie wybranych elementów projektu szczegółowego na tym etapie. Kolejną cechą charakterystyczną dla tego typu jednostkowej produkcji jest to, że prototyp jest praktycznie zawsze urządzeniem, które będzie działać jako urządzenie docelowe. Często wymagania narzucane przez klientów są wewnątrznie sprzeczne. Proces projektowania jest pewnego rodzaju kompromisem. W rezultacie inżynierowie mają znacznie szerszy zakres zadań i obszarów działania niż to miało miejsce kilka czy kilkanaście lat temu. Dla zobrazowania stopnia złożoności na rysunku 1 przedstawiono strukturę przykładowej linii budowanej w ostatnim czasie, składającą się z kilkunastu urządzeń realizujących określone funkcje.



Rysunek 1. Poglądowy rysunek linii do konfekcjonowania blachy

2 Zadanie badawcze

2.1 Charakterystyka przedsiębiorstwa i zadań projektowych

Badania przeprowadzono w okresie około dziesięcioletniej współpracy autora z firmą projektowo-produkcyjną. Maszyny produkowane w tej firmie zazwyczaj produkowane jednostkowo. Dlatego też podejście do procesu projektowania różni się niekiedy znacząco od tego, które jest powszechnie przedstawiane w literaturze i w większości przypadków dotyczy produkcji seryjnej lub masowej, [Clarkson, Eckert, 2005], [Pahl, Beitz i inni, 2007].

Możliwości produkcyjne opisywanej firmy są bardzo ważnym czynnikiem, który należy wziąć pod uwagę w procesie projektowania. Innym bardzo istotnym aspektem jest koszt i czas potrzebny na wykonanie ostatecznego rozwiązania. Produkowane maszyny są zazwyczaj dość skomplikowane. Większość z nich wyposażona jest w systemy pneumatyczne i hydrauliczne sterowane za pomocą sterowników PLC (ang. Programable Logic Controller). Wzrost stopnia skomplikowania maszyny czy linii produkcyjnej wiąże się z potencjalnymi problemami związanymi z awariami i serwisowaniem. Często zdarza się, że dostawy produktów wytwarzanych przez klientów na budowanych urządzeniach muszą być realizowane w systemie „just in time” (ang. na czas). Ponieważ maszyny są zazwyczaj produkowane jako jednorazowe prototypy, często zdarza się, że niektóre komponenty lub zespoły posiadają po kilka wersji. Występują również błędy w procesie pozyskiwania wymagań klienta dotyczących oczekiwanych funkcjonalności produkcyjnych, jak i ograniczenia geometryczne w miejscu montażu. Istotnym wymogiem jest stosowanie jak największej liczby rozwiązań, komponentów lub całych zespołów z poprzednich, sprawdzonych projektów. Wybór rozwiązań, które były sprawdzone/użytkowane ma dodatkową zaletę w postaci informacji zwrotnych związanych z eksploatacją. Podsumowując, należy podkreślić, że wybór odpowiedniego rozwiązania na etapie koncepcyjnym w opisywanej firmie jest dość zawiłym procesem, który w wielu aspektach jest specyficzny dla tej organizacji.

2.2 Metody badawcze

Przeanalizowano szereg podejść, metod i narzędzi, a do dalszych badań wybrano te, które spełniały ograniczenia zakładanego budżetu i kompetencji wykonawców. W związku z tym badanie obejmowało przegląd literatury od wczesnych lat 90-tych wraz z propozycją klasyfikacji odnoszącej się do celu pracy. Podjęto szereg prób stworzenia modeli zapisu

informacji i wiedzy o realizowanych w firmie procesach inżynierskich. We wszystkich przypadkach znaleziono rozwiązania, które doprowadziły do filtrowania rzeczywistych strumieni informacji i wiedzy. Postanowiono skonfrontować dotychczasowe osiągnięcia z realną firmą, o bardzo specyficznych cechach, z jej potrzebami i możliwościami. Wybrano podejście, gdzie maksymalnie możliwie przybliża się wspomagane komputerowo procesy projektowe do rzeczywistych procesów projektowania koncepcyjnego, jak i szczegółowego w badanej firmie. Wyniki prac na bieżąco były prezentowane na konferencjach, a także publikowane w tematycznych czasopiśmie.

2.3 Zarys historii rozwoju narzędzi komputerowych do zarządzania wiedzą – przypadek opisywanej firmy

W początkowym okresie rozwoju zbudowano dedykowane narzędzia do gromadzenia i używania wiedzy projektowej. Zostały zidentyfikowane pewne szablony projektowe (głównie dla stosunkowo nieskomplikowanych zagadnień), które były formalnie opisane i rozwijane.

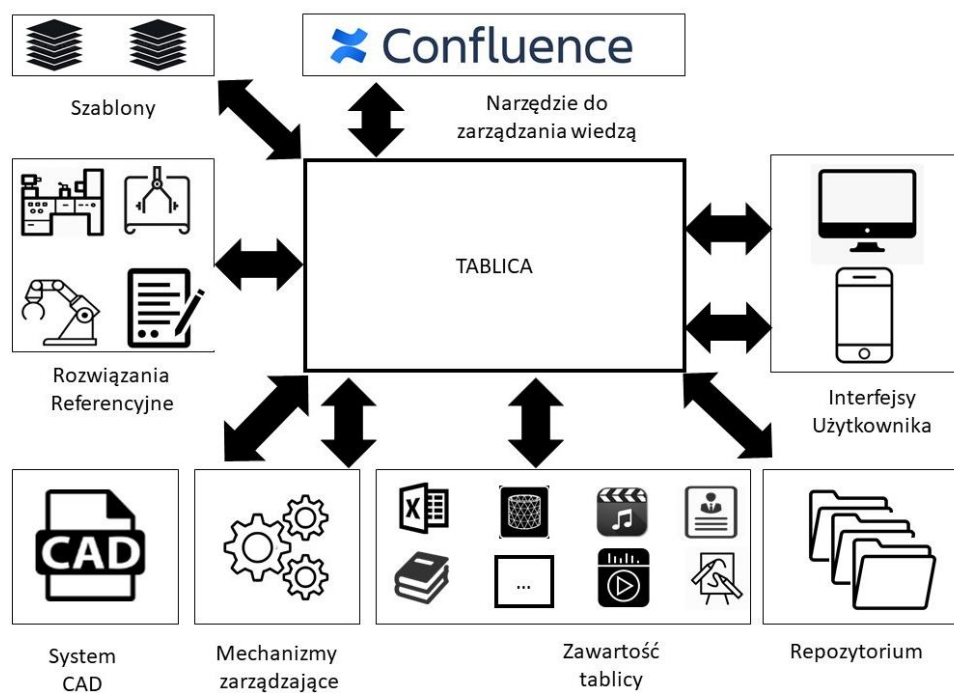
W następnym etapie podjęto działania zmierzające do zbudowania wysoce sformalizowanych narzędzi obejmujących całe zadania projektowe, jakie są realizowane w firmie. Wraz z upływem czasu następował stopniowy wzrost formalizacji i stopnia zaawansowania wykorzystywanych technik i narzędzi komputerowych. Sprawdzone i wykorzystywane metody i rozwiązania z poprzednich okresów były przenoszone, rozwijane, formalizowane i stosowane w bieżących projektach. Zmienne zapotrzebowanie (w zależności od aktualnie realizowanych zadań), a także klasa zagadnienia (rozumiana jako nakład prac potrzebnych na jej wdrożenie) powodowały znaczne zróżnicowanie stopnia rozwoju narzędzi dla poszczególnych obszarów zastosowań.

Aktualnie w opisywanej firmie funkcjonuje bardzo wiele narzędzi komputerowego przetwarzania wiedzy. Są one na bardzo zróżnicowanych stopniach zaawansowania - zarówno merytorycznego, jak i narzędziowego. Wiele z nich jest już pełnymi systemami KBE (ang. Knowledge Based Engineering). Budowa aplikacji KBE odznacza się znaczną pracochłonnością, dlatego też stosunkowo najliczniejsze są nieskomplikowane opracowania.

3 System wspomagający koncepcyjną fazę procesu projektowania zadania badawczego

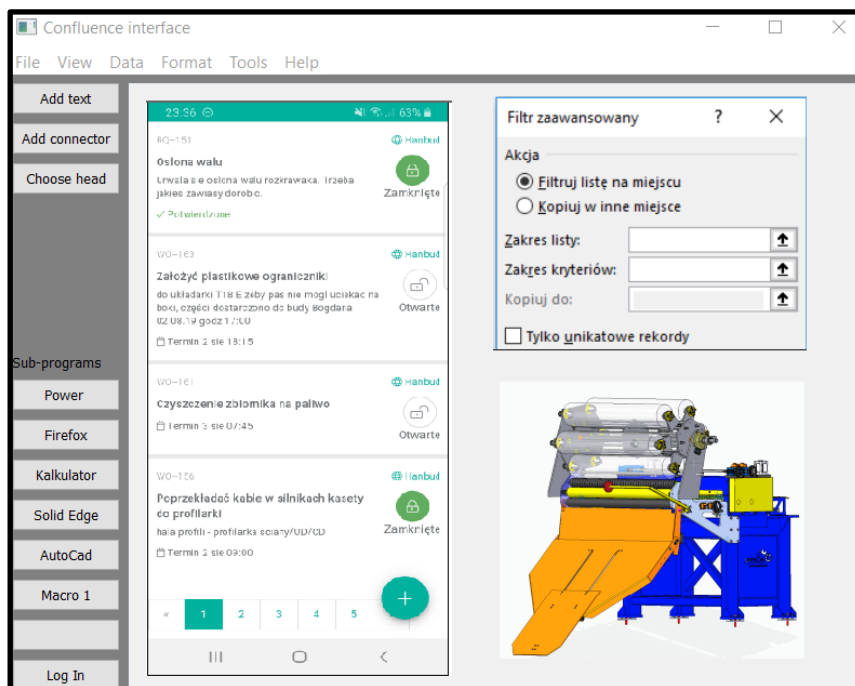
3.1 Proponowane rozwiązania

W trakcie opisywanych prac badawczych stworzono koncepcję architektury i pierwszą implementację oprogramowania, co pozwoliło na stosunkowo elastyczne wdrażanie procesów projektowych opartych na posiadanej i artykułowanej wiedzy, wspieranej narzędziami komputerowymi. W tym celu dokonano analizy szeregu realnych procesów projektowych realizowanych w firmie. Stały się one podstawą do stworzenia modelowej koncepcji środowiska dla zintegrowanego i opartego na wiedzy wsparcia inżynierskiego. W celu spełnienia złożonych wymagań zdecydowano się na budowę aplikacji zintegrowanej z systemem CAD komunikującej się z komercyjnym narzędziem do zarządzania wiedzą o nazwie Confluence firmy Atlassian [<https://www.atlassian.com/software/confluence>] oraz repozytorium, gdzie przechowywane są wszelkie komponenty w formie plików poprzez mechanizmy zarządzające przetwarzaniem zgromadzonej wiedzy i odpowiednim przedstawianiem wyników poprzez interfejs użytkownika. Poglądową architekturę systemu przedstawia rysunek 2.



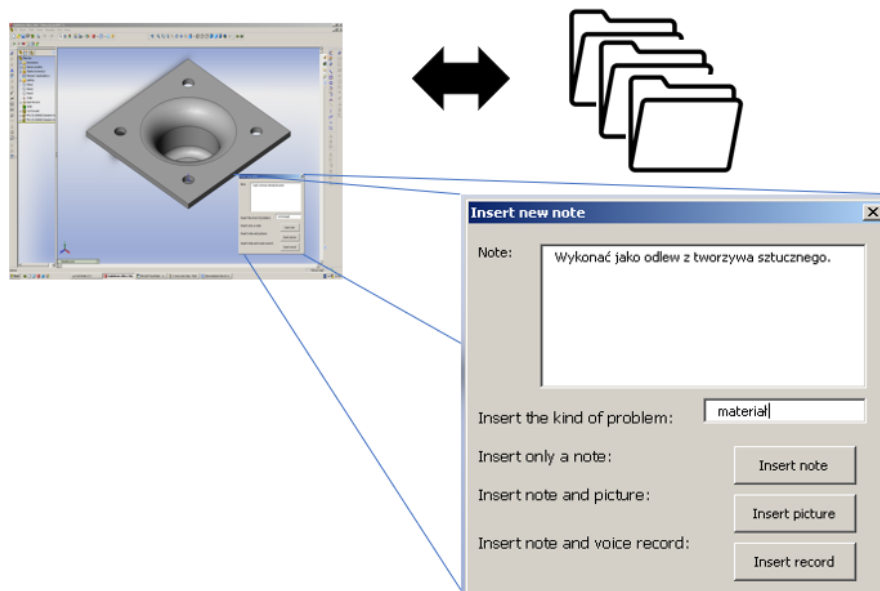
Rysunek 2. Architektura systemu

Autor proponuje wykorzystanie swego rodzaju inteligentnego asystenta projektanta [Pokojski, 2004], [Pokojski, 2006a], [Pokojski, 2006b], [Pokojski, 2007a]. Centralna część głównego interfejsu ma postać tablicy, na której wyświetlana jest zawartość odpowiednia do wybranego typu działania. Może to być pole do tworzenia reprezentacji wizualnej - grafów, gdzie możliwe jest łączenie różnych typów elementów lub do wyświetlania innej zawartości. W lewej dolnej części dostępne są zorientowane problemowo podprogramy tworzone z zamiarem wykorzystania ich do specyficznych zadań inżynierskich. Wdrożono również możliwość wykorzystania komercyjnych aplikacji, które pełnią taką samą rolę. Użytkownik ma możliwość dodawania i edycji podprogramów zorientowanych problemowo, a także grupowania ich do wykorzystania z danymi typami urządzeń lub dowolnymi innymi wybranymi aplikacjami. Obecnie dostępnych jest kilkanaście funkcjonalności (typów działań) zaimplementowanych w systemie. Nie wszystkie wyniki wspieranych działań są ustrukturyzowane. Fakt ten ogranicza możliwości automatycznego przetwarzania, ale zapewnia bardziej intuicyjną obsługę i nie narzuca predefiniowanych wzorców działania [Stokes, 2001], [Shooter i inni, 2000], [Szykman i inni, 2000], [Pokojski, Gil, Szustakiewicz, 2011a], [Pokojski, Gil, Szustakiewicz, 2011b], [Pokojski, Szustakiewicz, 2012], [Trehan, Chapman, Raju, 2015]. Aplikacja może być uruchamiana zarówno na urządzeniach mobilnych, jak i tradycyjnych komputerach PC.



Rysunek 3. Interfejs systemu

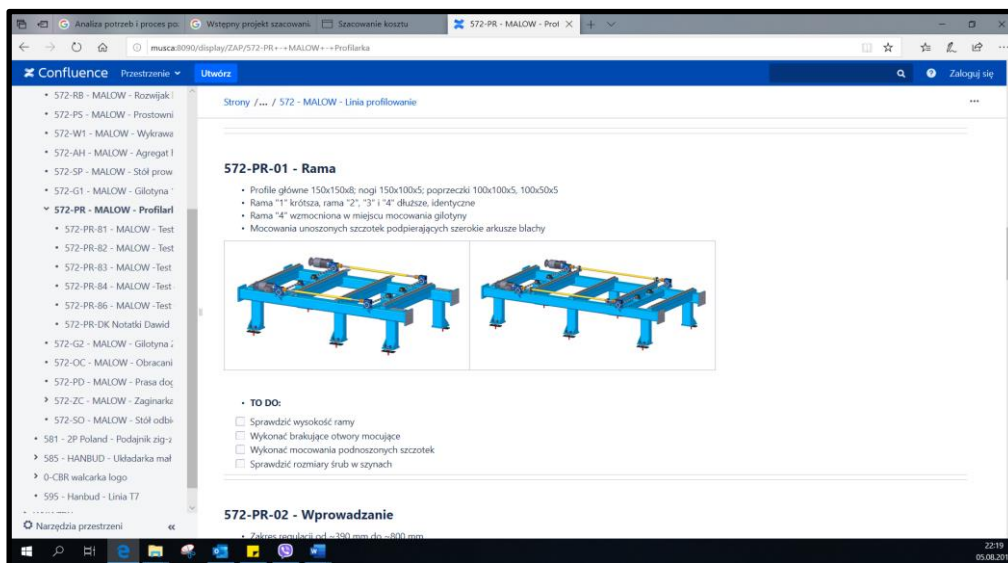
Gromadzenie i zapisywanie wiedzy przechowywanej w systemie ma miejsce równoległe z projektowaniem przez specjalnie do tego celu stworzone interfejsy. Jeden z nich przedstawiano na rysunku 4. Wywołując je użytkownik, uzyskuje możliwość wprowadzenia uznanej przez siebie za istotną informacji. Informacja ta może mieć charakter prostej notatki, załącznika w postaci zrzutu ekranu aplikacji CAD, notatki głosowej, załącznika z wynikami obliczeń czy też innego dowolnego załącznika. Należy podkreślić, iż informacja może mieć charakter przesłanki, która wskazuje kontekst podjętej decyzji projektowej. Na tym etapie wprowadzane informacje są w odpowiedni i zautomatyzowany sposób indeksowane i zapisywane poprzez specjalnie zaimplementowane mechanizmy zarządzające. Są także przyporządkowywane do odpowiedniego projektu, podzespołu, części bądź innego elementu, który niekoniecznie jest formą geometryczną (np. naprężenia, odkształcenia, technologia wykonania, itp.).



Rysunek 4. Przykład użycia w trakcie projektowania

Wykorzystywanie i ponowne używanie zgromadzonej wiedzy odbywają się w podobny sposób, jak jej wprowadzanie. W przypadku, kiedy projektujący napotyka na problem, którego nie potrafi rozwiązać, ma do dyspozycji wgląd w całą wiedzę zgromadzoną w systemie. Wywołuje odpowiedni interfejs do przeszukiwania wiedzy i na podstawie wprowadzanych kryteriów wyszukiwania otrzymuje informacje dotyczące interesujących go zagadnień. Oczywiście pod warunkiem, iż wcześniej w bazie wiedzy umieszczono informacje, które są w danym momencie pożądane. Wiedza przechowywana w systemie jest odpowiednio

skategoryzowana i powiązana między sobą, a dzięki wykorzystaniu odpowiednich mechanizmów zarządzających wiedzą wyniki wyszukiwania odpowiadają aktualnym potrzebom projektującego. W celu użytkowania aplikacji zgodnie z założeniami wskazane jest, aby po pomyślnym rozwiązaniu problemu projektowego projektant wprowadził informację na ten temat. Natomiast w przypadku, kiedy nie znalazł żądanych informacji, wprowadził je korzystając z innych źródeł wiedzy.

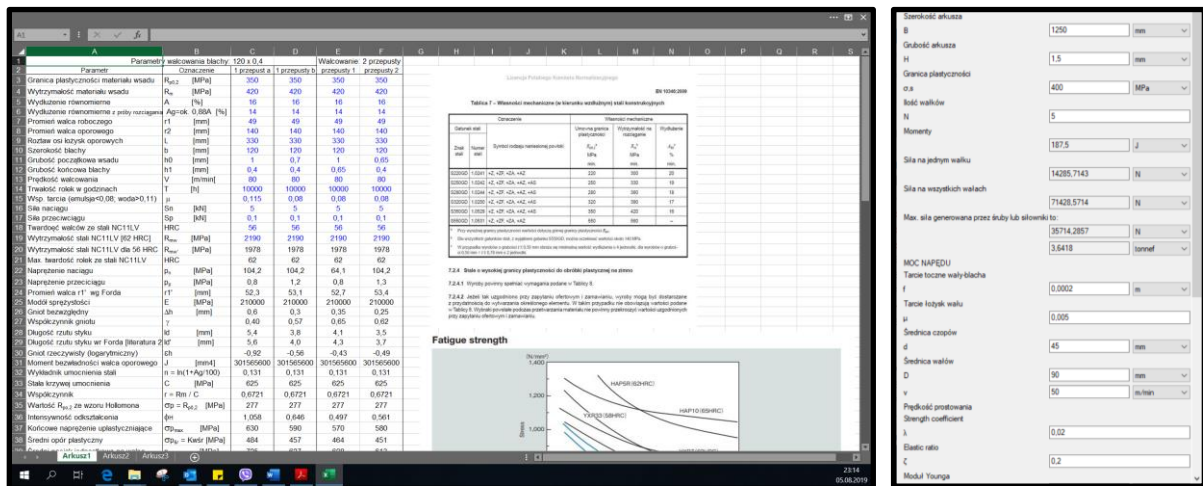


Rysunek 5. Wyszukany opis konstrukcji ram nośnych

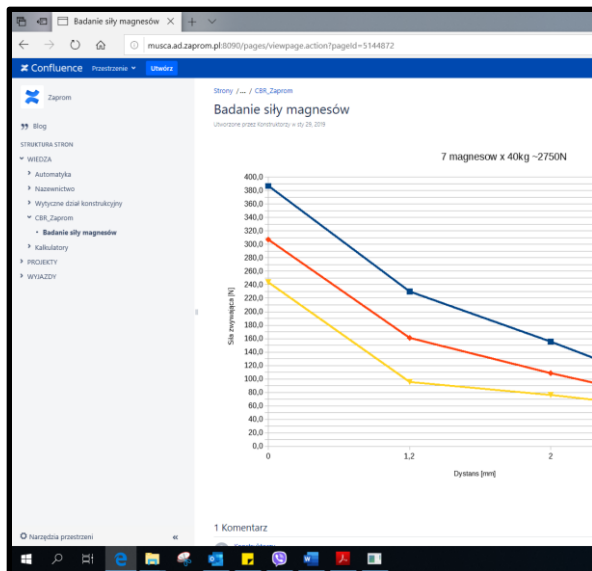
3.2 Zaimplementowane funkcjonalności

Projekt koncepcyjny musi nakreślić wizję funkcjonalno-gabarytową bez szczegółowych rozwiązań, które są określane w projekcie szczegółowym. Na tym etapie określane są wstępnie wartości głównych wymiarów z uwzględnieniem wymagań co do masy i wytrzymałości konstrukcji, a także mocy zainstalowanych napędów. Pierwszym etapem jest analiza oczekiwań i ograniczeń prowadząca do stworzenia wstępnej listy wymagań. Na jej podstawie przeprowadzane są obliczenia i analizy. Używa się komercyjnych narzędzi CAD i MES, a także elementów, które wchodzą w skład opisywanego tu systemu wspomagającego procesy projektowania. W użyciu jest wiele aplikacji obliczających zintegrowanych z systemem wspomagającym proces projektowania. Przybierają one bardzo różną formę. W najprostszym przypadku są to arkusze programu Excel z odpowiednio zaimplementowanymi formułami i interfejsami (Rysunek 6). Stosuje się także dedykowane aplikacje służące do konkretnych

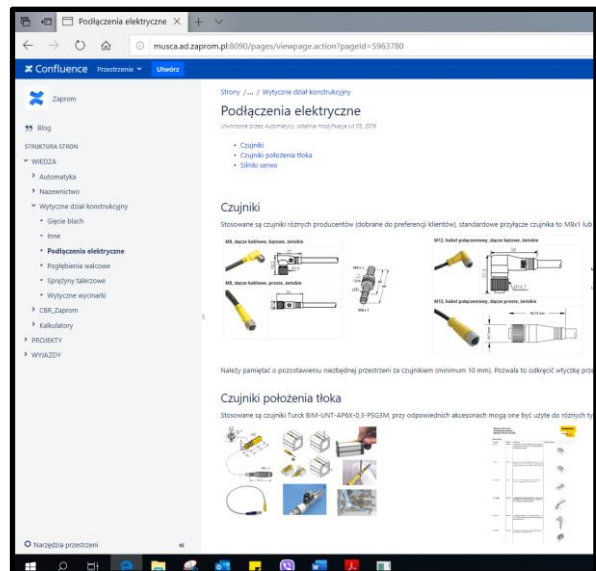
zastosowań, jak również programy obliczające od dostawców komponentów. Na rysunku 7 przedstawiono raport z wynikami eksperymentu. Rysunek 8 przedstawia przykładowe wytyczne, które są używane podczas powstawania linii produkcyjnej. Należy zwrócić uwagę na to, iż narzędzie ewoluuje i tego typu zalecenia (to samo zjawisko daje się zaobserwować dla innych typów przechowywanych zawartości) mogą dotyczyć także innych działań niż konstrukcyjny. W naszym przypadku były to działy automatyki i montażu.



Rysunek 6. Aplikacje obliczające



Rysunek 7. Przykładowy zapis wyników eksperymentu



Rysunek 8. Przykład wytycznych dla działu automatyki

4 Ocena i dyskusja

Wyniki uzyskane w pracy dotyczą procesu stosowania koncepcji ewoluujących narzędzi komputerowych, które są oparte na wiedzy, służących do wspomagania prac projektowych w małej firmie wyspecjalizowanej w produkcji jednostkowej. W przedstawionej koncepcji i realizacji założono, że konkretne działania projektowe wspierane są narzędziami opartymi na wiedzy, które stopniowo ewoluują w różne formy należące do poszczególnych klas narzędzi. Narzędzia te mogą być rozwijane i przenoszone z klasy do klasy. Na przykład narzędzie stworzone jako lista działań może stać się narzędziem KBE o określonym poziomie zaawansowania w wyniku podjętych prac rozwojowych. Założono, że rozwój narzędzi może odbywać się zarówno przy niezmienionej zawartości wiedzy w trakcie przechodzenia z jednej klasy narzędzi do drugiej, jak również podczas rozwijania i modyfikowania tej wiedzy.

Podczas realizacji prezentowanych zadań projektowych zjawiska te były uważnie monitorowane [Pokojski, Oleksiński, Pruszyński, 2019a], [Pokojski, Oleksiński, Pruszyński, 2019b]. W każdym z szablonów należących do określonej czynności projektowej, oprócz zmiany formy wynikającej ze zmiany klasy, możliwa jest zmiana wiedzy, na której się opiera. Elementy wiedzy użyte w szablonie mogą być zmieniane lub rozszerzane w trakcie prac rozwojowych. Opracowanie szablonu, związane zarówno ze zmianą klasy, jak i rozwojem modelowanej wiedzy jest rejestrowane za pomocą numeru wersji szablonu. Tworzenie szablonów jest procesem silnie uzależnionym od zadań projektowych realizowanych w określonym czasie. Podstawowym atrybutem wykorzystywanym do oceny wzorców jest ich dostosowanie do aktualnej rzeczywistości projektowej. Miarą pozwalającą ocenić poziom dopasowania danego wzorca do złożoności rozwiązywanych rzeczywistych problemów projektowych jest tzw. powinowactwo narzędzia. Przynależność szablonu do klasy oraz współczynnik powinowactwa to dwa parametry, które informują o poziomie zaawansowania i adekwatności konkretnej wersji szablonu. Klasa narzędzi pozwala nam ocenić ogólną skuteczność ich funkcjonowania oraz poziom zaawansowania narzędzi. Powinowactwo pozwala uchwycić poziom zdolności narzędzia do nadążania za zmieniającą się rzeczywistością - poziom rozwiązywanych rzeczywistych zadań projektowych. Analiza tych wskaźników dla różnych szablonów wykorzystywanego zestawu działań pozwala na bieżącą ocenę całkowitego potencjału zasobów narzędzi firmy z punktu widzenia klas realizowanych zadań projektowych. Przedstawione dane są fragmentem informacji monitorowanych w ramach tej pracy. Pozwalają one uchwycić szereg prawidłowości ważnych dla całego procesu.

Reasumując, można powiedzieć, że użyte narzędzia pozwalają znacznie skrócić czas potrzebny na wykonanie poszczególnych zadań. Umożliwiają one również badanie większej liczby wariantów konkretnych rozwiązań konstrukcyjnych. Oferują racjonalny sposób tworzenia polityki inwestycyjnej w odniesieniu do stosowanych narzędzi. Pozwala to na określenie, które narzędzia, ze względu na swój charakter i realizowane projekty, powinny być rozwijane poprzez przejście do wyższej klasy (narzędzi), a w przypadku których dbanie o wyższy poziom wdrażanej wiedzy należy realizować poprzez organizowanie procesów jej generowania lub pozyskiwania (obliczenia modelowe, eksperymenty, zatrudnianie konsultantów zewnętrznych).

Podejście zaprezentowane w pracy powstało w trakcie analizy rozwoju zasobów wiedzy projektowej w realnej firmie. Zasoby te zostały zidentyfikowane po raz pierwszy w roku 2012. Były wówczas niekompletne, formalnie zróżnicowane. Sprawiały wrażenie kreowanych „ad hoc”. Stopniowo podejmowano próby ich uporządkowania i nadania racjonalnych kierunków rozwoju. Pierwsze próby artykulacji tej formalizacji w stosunku do realnych zasobów firmowych narzędzi opartych na wiedzy okazały się bardzo transparentne i klarowne. Pozwalały monitorować istniejące zasoby i jednocześnie kreować strategię ich dalszego rozwoju. Z czasem pojawiła się wersyjność i miara powinowactwa. Następnie ujęcie to powiązano z planowanymi projektami. Procesami projektowymi, szczególnie podatnymi na tej klasy rozwiązania, są procesy z dużą ilością elementów mechatroniki (stoi za tym, na ogół, znaczna, ewoluująca kompleksowość modelowa). Proponowane podejście pozwala także na racjonalne sterowanie rozwojem całości dostępnych narzędzi (biorąc pod uwagę także aspekt ekonomiczny).

Dokonania przedstawione w pracy mają także swoją interpretację nawiązującą do Design Research Methodology (DRM) [Blessing, Chakrabarti, 2009]. Autor zaczynając współpracę z opisywaną firmą (w 2011 roku) był po kilkuletnim okresie studiów literaturowych [Pokojski, Oleksiński, Pruszyński, 2010]. Pojawiła się ocena różnych podejść i narzędzi. Od roku 2011 autor zajmował się obserwowaniem oraz identyfikowaniem zjawisk i procesów. Potem nastąpił okres testowych fragmentarycznych implementacji, które były przedmiotem permanentnych walidacji [Pokojski, Oleksiński, Pruszyński, 2013a], [Pokojski, Oleksiński, Pruszyński, 2013b], [Pokojski, Oleksiński, Pruszyński, 2015]. Ostatecznie została zbudowana wersja traktowana jako wdrożona. Przebieg tych procesów miał charakter wielo-iteracyjny.

5 Podsumowanie

Praca przedstawia propozycję komputerowego systemu wspomagającego projektowanie koncepcyjne. Opiera ona się na rzeczywistym studium przypadku i została stworzona z zamiarem zapewnienia wysokiego stopnia elastyczności. Analizowane przypadki wskazują, że rozpatrywana klasa problemów wymaga wielu źródeł wiedzy, a szybkość przetwarzania jest mniej istotna. Przedstawione problemy związane z projektowaniem w przypadku firmy zajmującej się produkcją jednostkową da się znacznie usprawnić. Proponowane podejście pozwala na zachowanie, przechowywanie i wykorzystanie wiedzy projektowej. Przy tego typu produkcji i realnych, ograniczonych zasobach ludzkich konieczne wydaje się zastosowanie niestandardowych rozwiązań informatycznych dostosowanych do poszczególnych zagadnień, narzędzi i ich grup oraz do widocznego procesu ich ewolucji [Pokojski, Oleksiński, Pruszyński, 2019b].

Charakterystyka procesów i modeli prezentowanych w pracy jest wynikiem obserwacji i zgromadzonych doświadczeń. Przedstawione podejście ma swoje wady i prawdopodobnie nie miałyby zastosowania w dużych organizacjach. W małej firmie działa to bardzo dobrze, czego dowodem jest dynamiczny rozwój analizowanego przedsiębiorstwa. Pozwala to na oszczędności finansowe, usystematyzowanie zasobów wiedzy oraz znacznie skraca czas realizacji nowych projektów. Podnosi ich jakość i zapewnia stosowanie sprawdzonych rozwiązań i procesów oraz redukcję ryzyka.

Firma stawia sobie za cel ewolucyjne dochodzenie do ogólnie bardziej zaawansowanych rozwiązań. Oczekiwany cel jest zbudowanie bardziej ogólnych i kompletnych szablonów składających się z szablonów niższych rzędów dla produkowanych linii produkcyjnych. Dodatkowo szablony z danej klasy jak i z różnych klas muszą być ze sobą zintegrowane – muszą być odpowiednio zarządzane tak, aby dało się nimi odpowiednio operować, modyfikować, integrować zachowując przy tym historię rozwoju wraz z tłem decyzji stojących za tym. Odpowiednie mechanizmy muszą zarządzać elementami (szablonami) zawartymi w poszczególnych warstwach. Te z kolei zarządzane są nadrzędnymi mechanizmami, które także prawdopodobnie przyjmą postać szablonów. Ich dodatkowym zadaniem jest także odpowiedzialność za komunikację z użytkownikiem.

Literatura

[**Andreasen, Hansen, Cash, 2015**] Andreasen M. M., Hansen C. T., Cash P, Conceptual Design, Interpretations, Mindset and Models, Springer, Cham, Heidelberg, New York, Dordrecht, London, © Springer International Publishing, 2015.

[**André i inni, 2017**] André S., Elgh F., Johansson J., Stolt R., The design platform– a coherent platform description of heterogeneous design assets for suppliers of highly customized systems, *Journal of Engineering Design* volume 28, 2017, 1-28.

[**Blessing, Chakrabarti, 2009**] Blessing L. T. M., Chakrabarti A., DRM, a Design Research Methodology, Springer, 2009.

[**Bossen i inni, 2017**] Bossen J., Brunoe T. D., Bejlegaard M., Nielsen K., Conceptual Model for Developing Platform- Centric Production Architectures, In: J. Bellemare i inni *Managing Complexity*, Springer Proceedings in Business and Economics, Springer International Publishing, Switzerland, 2017.

[**Bracewell i inni, 2009**] Bracewell R., Wallace K., Moss M., Knott D., Capturing design rationale, *Computer-Aided Design*, volume 41, 2009, 173-186.

[**Cichocki, Pokojski, 2001**] Cichocki P., Pokojski J., *Metodyka przechowywania wiedzy projektowej w budowie maszyn*, IPBM PW, 2001.

[**Clarkson, Eckert, 2005**] Clarkson J., Eckert C. (red.), *Design Process Improvement. A review of current practice*. Springer-Verlag, London, 2005.

[**Cross, Cross, 1996**] Cross N., Cross A. C.: *Wining by design: the methods of Gordon Murray, racing car designer*. *Design Studies* volume 17, 1996, 91-107.

[**Frere, Dron, 2013**] Frere P., Dron T., *Die Porsche 911 Story*, Motor Buch Verlag, 2013.

[**Johansson, Elgh, 2017**] Johansson J., Elgh F, *Applying Connectivism to Engineering Knowledge to Support the Automated Business*, W: *Transdisciplinary Engineering: A Paradigm Shift*, C. Chen i inni 2017, IOS Press, 2017.

[**Kroll, 2013**] Kroll E., *Design theory and conceptual design: contrasting functional decomposition and morphology with parameter analysis*, *Research Engineering Design*, volume 24, 2013, 165–183.

[**Levandowski, Jiao, Johannesson, 2015**] Levandowski C. E., Jiao J. R., Johannesson H., *A two-stage model of adaptable product platform for engineering-to-order configuration design*, *Journal of Engineering Design*, 2015, volume 26, 220–235.

[**Ponn, Lindemann, 2008**] Ponn J., Lindemann U., *Konzeptentwicklung und Gestaltung technischer Produkte*, Springer-Verlag, Berlin, Heidelberg, 2008.

[Pahl, Beitz i inni, 2007] Pahl G., Beitz W. i inni, Engineering Design: A Systematic Approach, Springer-Verlag, 2007.

[Pokojski, 2004] Pokojski J., IPA (Intelligent Personal Assistant) – Concepts and Applications in Engineering, Springer-Verlag, London, 2004.

[Pokojski, 2005] Pokojski J., Systemy Doradcze w Projektowaniu Maszyn, WNT, 2005.

[Pokojski, Niedziółka, 2005] Pokojski J., Niedziółka K., Transmission system design – intelligent personal assistant and multi-criteria support, In: Next Generation Concurrent Engineering – CE 2005, ed. By M. Sobolewski, P. Ghodous, Int. Society of Productivity Enhancement, NY, 2005, 455-460.

[Pokojski, 2006a] Pokojski J., Intelligent Personal Assistant as Source of Design Rationale Information, Proceedings of The Sixth International Symposium on Tools and Methods of Competitive Engineering – TMCE 2006, Ljubljana, Slovenia, CD, 2006,1-10.

[Pokojski, 2006b] Pokojski J., Knowledge Based Engineering and Intelligent Personal Assistant Context in Distributed Design, In: Intelligent Computing in Engineering and Architecture, LNAI 4200, Springer-Verlag, 2006, 519-528.

[Pokojski, 2007a] Pokojski J., Personal Knowledge Management in Engineering Design – Issues, Concepts and Applications, Lecture Notes in Informatics (LNI) – Proceedings, Volume P-120, Series of the Gesellschaft fur Informatik (GI), Bonn, 2007, 9-20.

[Pokojski, Oleksiński, Pruszyński, 2010] Pokojski J., Oleksiński K., Pruszyński J., Concepts of applications supporting process of design knowledge storage, Zeszyty Naukowe Instytutu Pojazdów Politechniki Warszawskiej, Nr 4 (80), 2010, 71-82.

[Pokojski, Gil, Szustakiewicz, 2011a] Pokojski J., Gil M., Szustakiewicz K., Extended KBE in Mechanical Engineering- discussion of concepts, In Daniel D. Frey, Shuichi Fukuda and Georg Rock (eds.): Improving Complex Systems Today: Proceedings of the 18th ISPE International Conference on Concurrent Engineering (Advanced Concurrent Engineering), Springer-Verlag, 2011, 267-274.

[Pokojski, Gil, Szustakiewicz, 2011b] Pokojski J., Gil M., Szustakiewicz K., Extended KBE in Mechanical Engineering- discussion of solutions, In Daniel D. Frey, Shuichi Fukuda and Georg Rock (eds.): Improving Complex Systems Today: Proceedings of the 18th ISPE International Conference on Concurrent Engineering (Advanced Concurrent Engineering), Springer-Verlag, 2011, 275-284.

[Pokojski, Szustakiewicz, 2012] Pokojski J., Szustakiewicz K., Extended KBE – Scenario of an Application Development. In J. Stjepandic, G. Rock, C. Bil (eds.): Concurrent Engineering Approaches for Sustainable Product Development in a Multidisciplinary Environment. Proceedings of the 19th International Conference on Concurrent Engineering, Springer, 2012, 291-302.

[Pokojski, Oleksiński, Pruszyński, 2013a] Pokojski J., Oleksiński K., Pruszyński J., Review and Concepts of Implementation Mechanisms for Knowledge Management in a Detail Design Process, Machine Dynamics Research, Nr 37 (2), 2013, 76-84.

[Pokojski, Oleksiński, Pruszyński, 2013b] Pokojski J., Oleksiński K., Pruszyński J., Application Supporting Knowledge Storing and Reusing - Implementation and Concepts of Implementation of Knowledge Management Mechanisms at Conceptual Designing Stage, Machine Dynamics Research, Nr 37 (3), 2013, 67-75.

[Pokojski, Oleksiński, Pruszyński, 2015] Pokojski J., Oleksiński K., Pruszyński J., Analysis of knowledge resources and the methods for its processing in the conceptual design phase, Machine Dynamics Research Nr 39 (1), 2015, 67-80.

[Pokojski, Oleksiński, Pruszyński, 2019a] Pokojski J., Oleksiński K., Pruszyński J., Conceptual and Detailed Design Knowledge Management in Customized Production - Industrial Perspective, Journal of Computational Design and Engineering, Journal of Computational Design and Engineering, volume 6(4), 2019, 479-506.

[Pokojski, Oleksiński, Pruszyński, 2019b] Pokojski J., Oleksiński K., Pruszyński J., Knowledge based processes in the context of conceptual design, Journal of Industrial Information Integration, Journal of Industrial Information Integration volume 15, 2019, 219-238.

[Shooter i inni, 2000] Shooter S.B., Keiroz V. B., Szykman S., Fenves S.J., A Model for The Flow of Design Information in Product Development. Engineering with Computers, 16, 2000, 178-194.

[Stokes, 2001] Stokes M., Managing Engineering Knowledge, MOKA – project, Professional Engineering Publishing Limited, London, 2001.

[Szykman i inni, 2000] Szykman S., Sriram R.D., Bochenek Ch., Racz, Senfaute J., Design Repositories: Engineering Design's New Knowledge Base. J.W. IEEE Intelligent Systems, May/June, 2000, 48-54.

[Trehan, Chapman, Raju, 2015] Trehan V., Chapman C., Raju P., Informal and formal modelling of engineering processes for design automation using knowledge based engineering. Zhejiang University Science A (Appl. Phys. & Eng.),2015, volume 16(9),706-723.

[Wang, Johnson, Bracewell, 2012] Wang H., Johnson A. L., Bracewell R. H., The retrieval of structured design rationale for re-use of design knowledge with and integrated representation, Advanced Engineering Information volume 26, 2012, 251-266.