

Modelowanie wiedzy inżynierskiej w projektowaniu koncepcyjnym

Engineering knowledge modeling in conceptual design

JERZY POKOJSKI *

Materiały z XX SKWPIE, Jurata 2016 r.
DOI: 10.17814/mechanik.2016.7.180

W pracy przedstawiono próbę komputerowego zamodelowania realnej, inżynierskiej wiedzy projektowej używanej w małej firmie. Skupiono się przede wszystkim na etapie projektowania koncepcyjnego. Podjęto próbę stworzenia koncepcji środowiska komputerowego.

SŁOWA KLUCZOWE: modelowanie wiedzy, projektowanie koncepcyjne

The paper presents the attempt of engineering design knowledge modeling in a small firm. The description is limited to the conceptual design. There is proposed the concept of the computer environment.
KEYWORDS: knowledge modeling, conceptual design

Przeprowadzono próbę komputerowego zamodelowania realnej, inżynierskiej wiedzy projektowej używanej w małej firmie. Skupiono się na etapie projektowania koncepcyjnego [13].

Zwykle realizacja inżynierskich zadań projektowych skupia się na dwóch typach aktywności:

- aktywnościach związanych z modelowaniem rzeczywistości,
- aktywnościach polegających na analizowaniu modeli rzeczywistości i realizacji procesów decyzyjnych.

Oba typy działań są na ogół integrowane przez projektujących [15]. Używane modele mogą mieć różny poziom złożoności: od bardzo prostych, opartych na kilku równaniach, do bardziej kompleksowych całości. Bywa, że są to tylko i modele mentalne. Problemy o dużym stopniu złożoności na ogół rozwiązywane są zespołowo [13, 15, 22].

Działania wymienione powyżej opierają się na szerokim wykorzystaniu dostępnej wiedzy projektowej [15]. Wiedza projektowa inżynierów to efekt ich wykształcenia i doświadczenia zawodowego.

Wiedza osobista/zespołowa może być wyrażana przez projektujących i składowana w odpowiednich reprezentacjach komputerowych [2, 15]. Budowane są narzędzia komputerowe, które mogą pozwolić na składowanie wiedzy projektujących i sprawne zarządzanie tą wiedzą. W ciągu ostatnich 25 lat powstało wiele prac dotyczących tych zagadnień. Dorobek tej dziedziny jest relatywnie duży.

W jej dorobku można wyodrębnić trzy okresy: 1) okres 1990–2000, 2) 2000–2010, 3) 2005–... Każdy z tych okresów można scharakteryzować z punktu widzenia szczegółowych dokonań jak i pewnych, charakterystycznych składników. Poniżej, przedstawiamy te ostatnie wyrażone w formie ogólnej charakterystyki danego okresu:

1) okres 1990–2000 [4, 6, 8, 18]

W tym okresie uznano, że wiedza osobista projektujących jest bardzo użyteczna i może w znaczący sposób przyspieszyć oraz podnieść jakość rozwiązywania problemów przez projektujących. Zasadniczym celem było w tym przypadku uchwycenie różnych śladów czynności wykonywanych przez projektujących i ich natychmiastowe utrwalanie w formie re-

prezentacji komputerowych. Towarzyszyć temu może selekcja, walidacja zapisywanej wiedzy i informacji. Jednocześnie następował proces integracji zapisywanej wiedzy z wiedzą już utwaloną i przechowywaną. Te zapisy mogły mieć niekiedy charakter autorski. Narzędzia tej klasy przyjmowały często funkcje osobistego notatnika, gdzie każde upublicznienie wymaga zgody autora. Niekiedy dodawano moduły wnioskujące.

2) okres 2000–2010 [1, 3, 5, 7, 9, 10, 15, 16, 17, 19]

W zasadzie przyjęte zostały koncepcje i rozwiązania z okresu 1. Dodatkowo zaczęto rozwijać koncepcje i narzędzia, które akceptują istniejący stan, np. obecne w przemyśle, obszerne repozytoria dokumentacji projektowej. Akceptacja oznaczała tworzenie narzędzi do wyszukiwania określonej wiedzy projektowej w opracowaniach tekstowych czy też dokumentacji wygenerowanej z pomocą systemów CAD/CAE. Nastąpiło także doskonalenie narzędzi przeznaczonych do bieżącego tworzenia notatek towarzyszących powstającej dokumentacji inżynierskiej. Pojawił się nurt, którego zamierzeniem było wypracowywanie pewnych rekomendacji projektowych powstałych jako refleksja z wcześniejszej działalności projektowej. Nastąpił rozwój interfejsów graficznych i narzędzi do integracji.

3) okres 2005–... [14, 20, 21]

Nastąpiła, na ogół, akceptacja koncepcji i rozwiązań z okresów 1 i 2. Zainicjowane zostały procesy doprecyzowywania i uszczegóławiania wielu składników występujących w tych okresach. Zbudowano wiele zaawansowanych modeli wiedzy. Stworzono cały szereg narzędzi do utrwalania i przeszukiwania wiedzy. Często jednak następowało odejście od uwzględnienia specyfiki modelowania wiedzy inżynierskiej i metodologii projektowania inżynierskiego.

Dorobek scharakteryzowany powyżej jest obszerny i robi imponujące wrażenie. Jednak jego wpływ na realną, przemysłową rzeczywistość nie jest znaczący. Obserwując obszar aplikacji, którymi posługują się osoby zajmujące się rozwojem produktu, możemy zauważyć, że nadal w dużym stopniu są to pliki tekstowe, arkusze kalkulacyjne i poczta elektroniczna. Zwłaszcza ta ostatnia bywa często stosowana jako osobiste repozytorium wiedzy i informacji.

Podjęcie decyzji w trakcie realizacji aktywności projektowych jest zjawiskiem permanentnym [2, 15, 21]. Projektujący budują swoje procesy projektowe, określają poszczególne kroki i towarzyszące im aktywności. Dalej następuje realizacja procesów. Wyniki uzyskane wcześniej wpływają na decyzje podejmowane później. Zdarzają się korekty, czasem pojawia się postępowanie iteracyjne.

Wykorzystywana jest wiedza, niekiedy metody wspomaganie decyzji. Wiedza może pochodzić z osobistych/zespołowych repozytoriów. Wiedza używana przez pojedynczego projektującego – właściciela swojego osobistego asystenta – może pochodzić z zasobów osobistego asystenta innego projektującego. Wiedza ta może być wykorzystywana jako rodzaj dostępnych automatycznie czyichś rekomendacji. Może również być szczegółowo i dogłębnie analizowana jako próba zrozumienia czyjejś perspektywy postrzegania i wnioskowania merytorycznego.

* Prof. dr hab. inż., Jerzy Pokojński (jerzy.pokojnski@simr.pw.edu.pl) – Politechnika Warszawska

Oprogramowanie używane we wspomaganiu prac inżynierskich zwykle jest klasyfikowane w zależności od swoich funkcjonalności. Podobnie można postąpić z oprogramowaniem typu osobisty asystent projektującego. Można przygotować jego wersję przeznaczoną np. do poszczególnych faz procesu projektowego według Pahla i Beitza [13] lub typów zadań projektowych proponowanych przez Ullmana [22]. Można ten problem ująć, przygotowując odpowiednie szablony i profile. Można uwzględnić obecność otoczenia zewnętrznego i wielość ról pełnionych przez uczestników tych procesów, co jest typowe dla realiów pracy w przemyśle.

W dalszej części pracy skoncentrujemy się przede wszystkim na skojarzeniu koncepcji systemu osobistego asystenta projektanta z projektowaniem koncepcyjnym.

Koncepcja modelowania wiedzy projektowej w procesie projektowania koncepcyjnego

Etap projektowania koncepcyjnego zakłada operowanie funkcją [13], która jest następnie dekomponowana na funkcje składowe, dalej poszukiwane są rozwiązania prowadzące do realizacji funkcji składowych, odbywa się badanie różnych ich kombinacji i ocena ich realistyczności. Dalsze działania mogą prowadzić do wypracowania ostatecznego, skutecznego rozwiązania. Zakłada się także, że alternatywne warianty należy też odpowiednio udokumentowywać i składować. Mogą okazać się przydatne w przypadku konieczności powtórzenia procesu w zmienionych realiach.

W literaturze można spotkać także szereg innych koncepcji metodycznych podejścia do etapu projektowania koncepcyjnego. Jednym z bardziej interesujących podejść, które zaczyna odgrywać coraz większą rolę, jest podejście oparte na inżynierii systemów [21] (*systems engineering*). W tym przypadku zakłada się istnienie komponentów, ich atrybutów i relacji, które są odpowiednio modelowane i posiadają swoje graficzne reprezentacje. W ten sposób modeluje się złożone całości konstrukcyjne, uwzględniając ich złożoność strukturalną, funkcyjną, uzyskiwane osiągi itd. Często używamy do tego celu narzędziem jest język SysML. Podejście to pozwala bardzo precyzyjnie uchwycić wiele istotnych charakterystyk produktu. Zasadniczym jego celem jest przejście od podejścia dokumento-centricznego do podejścia modelo-centricznego, szczególnie w przypadku kompleksowości.

Rozwiązania oparte na tych koncepcjach na ogół prowadzą do jednoznaczności modelowej, z założenia mają za zadanie ułatwić komunikowanie się członków zespołu projektującego [21]. Z drugiej jednak strony odznaczają się pewną pracochłonnością. Rozwiązaniem mogą być w tym przypadku: a) ponowne użycie/adaptacja wcześniej zbudowanych modeli, b) budowanie bibliotek obiektów o bardziej uniwersalnym przeznaczeniu.

Wszystkie realne koncepcje modelowania różnych faz etapu projektowania koncepcyjnego zakładają artykułowanie przez projektujących swoich pomysłów przy wykorzystaniu inżynierii systemów. W przypadku projektowania grupowego może to prowadzić do wstępnego tworzenia modeli w formie dokumentów papierowych, a następnie, po fazie dyskusji i uzgodnień, przenoszenia istotnych iteracji projektowych do środowiska modeli komputerowych.

Od dosyć dawna obserwowany jest także inny trend w utrwalaniu wiedzy – realizowane są prace, które w formie multimedialnej utrwalają akty komunikacji mające miejsce w trakcie etapu projektowania koncepcyjnego [11]. Utrwalane są nie tylko wypowiedzi, wizualizacje poszczególnych realizatorów w trakcie dyskusji na temat koncepcji projektu. Budowane są opisy/modely, w których utrwała się wymianę informacji pomiędzy członkami zespołu, etapy pracy indywidualnej poszczególnych osób łącznie ze stosowaną wiedzą

i narzędziami (komputery, inne), prezentacje skutków tej pracy (upublicznienie wyników pracy indywidualnej), reakcje innych. W ten sposób mogą powstać dosyć złożone modele cykli projektowania koncepcyjnego, które poza tym, że wyjaśniają istotę różnych rozwiązań i decyzji, pokazują stosowane ogólne strategie i metody, przyjęty styl pracy itp.

Duża część opublikowanych prac z tego zakresu powstała w oparciu o problemy projektowe specjalnie stworzone dla tych badań.

Autor artykułu, wspólnie ze współpracownikami, podjął próbę stworzenia koncepcji środowiska do wspomagania procesu składowania wiedzy w odniesieniu do projektowania koncepcyjnego w przypadku biura projektowego w rzeczywistej, małej firmie [12].

Analiza wybranych realnych procesów (zrealizowanych w tej firmie) pozwoliła stworzyć pewne ich formalizacje. Rezultatem tych badań była identyfikacja i formalizacja m.in. następujących zasobów: a) główne atrybuty systemu wytwarzania, b) dokumentacja projektowa i inne informacje odnośnie do elementów wytwarzanych w firmie, c) repozytorium wiedzy do szybkiego szacowania kosztów, d) modele koncepcyjne i szczegółowe stosowanych układów sterowania, e) repozytorium informacji o usterkach, f) rozwiązania rekomendowane w zakresie *just in time*, g) repozytorium rekomendowanych rozwiązań standardowych, h) narzędzia do *traceability* określonych elementów i złożań, i) repozytorium standardowych procedur, k) formalny opis stworzonych rozwiązań koncepcyjnych, l) opis kompetencji i biografii zawodowych pracowników, ł) zapis standardowych wymagań, m) opis modeli mentalnych stosowanych w projektowaniu koncepcyjnym, n) opis formalnych struktur projektów i inne.

Wymienione zasoby są dosyć obszerne. Dalszym krokiem, obecnie realizowanym, jest budowa zintegrowanego, komputerowego środowiska do składowania i zarządzania tymi zasobami. Ze względu na złożoność i poufność charakterystycznych wątków zagadnienia tworzenia koncepcji takiego środowiska zostaną przedstawione w niniejszej pracy przy pomocy przykładu historycznego, którego opisy były już kilkakrotnie przedmiotem publikacji [15].

Przykład modelowania środowiska do wspomagania procesu składowania wiedzy w projektowaniu koncepcyjnym

W rozdziale zaprezentowany zostanie realny przykład problemu koncepcyjnego zrealizowanego przez kilkuosobowy zespół w niewielkiej firmie software'owej [15]. Problem został rozwiązany w latach 1989–1990.

Głównym realizatorem projektu był autor artykułu. Firma software'owa posiadała własny system do modelowania geometrycznego rurociągów. System był zintegrowany z kilkoma modułami przeznaczonymi do realizacji innych procesów obliczeniowych. Kilku głównych klientów firmy zasugerowało, że byliby zainteresowani poszerzeniem możliwości posiadanego oprogramowania o możliwość modelowania i analizowania/optymalizowania przepływu płynów w rurociągach. Firma posiadała duże doświadczenie w modelowaniu i analizie zjawisk przepływowych. Pierwotnie próbowano stworzyć własny formalizm do symulacji płynów. W końcu zrezygnowano z tego rozwiązania. Zdecydowano się na wykorzystanie innego systemu do modelowania i analizy zjawisk przepływowych. System ten wykorzystywał formalizm komórkowy oparty na jednowymiarowym przepływie. Wspólnie, zespołowo prowadzono prace nad koncepcją i budową prototypowej wersji systemu zintegrowanego – powstałego z systemu do modelowania geometrii rurociągu i systemu do symulowania zjawisk przepływowych. Początkowo skupiano się na formalnej integracji obu systemów, tak aby te informacje, które już były zapisane w systemie do modelowania geometrii, były wykorzystywane

w systemie do symulacji. Zagadnienie wymagało podania dużego zbioru danych związanych z fizyczną stroną modelowanych zjawisk przepływowych.

Wymagania początkowe narzucały daleko posuniętą automatyzację procesu budowy modelu płynu i samej symulacji. Koncepcja ta została zrealizowana praktycznie w kilku krokach. Pierwsze rozwiązania oparto na podniesieniu efektywności procesu modelowania realizowanego przez człowieka. Stopniowo jednak przesuwano poziom wymagań i poszukiwano nowych rozwiązań, jak zautomatyzować kolejne etapy.

Na cały proces tworzenia koncepcji nowego systemu możemy spojrzeć jak na jedno zadanie projektowania koncepcyjnego. W procesie brało udział 5 osób: 4 osoby pracujące w firmie (autor niniejszej pracy, 3 ekspertów z dziedziny projektowania i obliczania instalacji przepływowych) i 1 ekspert zewnętrzny – autor systemu do symulacji (jego rola sprowadzała się do przystosowywania swojego systemu do nowych zadań).

Wykonawcą kolejnych wersji software'owych oprogramowania był autor niniejszego artykułu.

Całość prac była realizowana w następujący sposób: najpierw wyartykułowano cel: zintegrowanie obu systemów. Pierwsza wersja, jaka powstała, funkcjonowała na zasadzie wykorzystania istniejącego modelu geometrycznego poprzez stopniowe, „ręczne” dodawanie do niego elementów modelu symulacyjnego. Wersja ta powstała jako pierwsza iteracja procesu. Została ona poddana zespołowej ocenie, która przerodziła się w obszerną dyskusję. Stwierdzono, że szereg aktywności trzeba zautomatyzować. Pojawiły się kolejne propozycje w formie nowych koncepcji. Zaczęto myśleć nad ich rozwiązaniami szczegółowymi.

Proces ten został w naturalny sposób zdekomponowany na ok. 20 cotygodniowych sesji – spotkań, przedzielonych okresami intensywnej pracy nad kolejnymi wersjami systemu (zadania realizowane przez autora niniejszego artykułu). Pozostali uczestnicy zajmowali się wyszukiwaniem odpowiednich zasobów wiedzy merytorycznej w zakresie różnych, przeważnie wycinkowych zagadnień i nadaniem jej formy programistycznej. Dużo pomysłów powstało w oparciu o nakreśloną sylwetkę potencjalnego użytkownika systemu. Budowniczy systemu (autor tej pracy) nigdy nie zajmował się mechaniką płynów, te aspekty pracy były realizowane prawie wyłącznie w oparciu o wiedzę pozostałych ekspertów.

Wykorzystywano różne zasoby wiedzy merytorycznej, m.in. doświadczenia konkretnych ekspertów w badaniu określonych klas modeli i stosowaniu odpowiednich metod obliczeniowych.

Cały proces tworzenia rozwiązania koncepcyjnego nowo powstającego systemu odbywał się jako cykl zespołowych sesji przedzielonych etapami pracy indywidualnej. Podejście okazało się skuteczne i szybko prowadzące do celu. Decydujący był wysoki i specjalistycznie zróżnicowany poziom kompetencji członków zespołu.

W formie programistycznej zostały stworzone kolejne wersje oprogramowania. Wersja ostateczna całości została skomentowana wewnątrz kodu zarówno opisami szczegółowymi samego oprogramowania, jak i informacjami o autorskich korzeniach fragmentów zaproponowanych przez poszczególnych ekspertów. W rezultacie pozwoliło to w dużym stopniu odtworzyć proces powstawania koncepcji systemu.

Zastosowane podejście wydaje się bardzo skuteczne. W dniu dzisiejszym istnieje szereg narzędzi, które pozwalają uchwycić w modelach komputerowych poszczególne etapy powstawania scharakteryzowanego procesu tworzenia rozwiązania koncepcyjnego. Narzędzia te to środki do uchwycenia sesji grupowych – pojawiających się tam pomysłów, argumentacji itd., następnie duża liczba środków klasy „modele zorientowane problemowo”, stosowane wielokrotnie przez członków zespołu. Bardzo ważnym elementem jest integracja tych wszystkich składników.

Wnioski

W pracy przedstawiono propozycję narzędzi do modelowania wiedzy w procesie tworzenia rozwiązań koncepcyjnych. Rozwijane pomysły w dużym stopniu opierają się na procesach zaobserwowanych realnie w przemyśle.

LITERATURA

1. Bracewell R., Wallace K., Moss M., Knott, „Capturing design rationale”, *Computer-Aided Design* 41, (2009), 173÷186.
2. Chandrasegaran S. K., Ramani K., Sriram R. D., Horváth I., Bernard A., Harik R. F., Gao W., „The evolution, challenges, and future of knowledge representation in product design systems”, *Computer-Aided Design* 45 (2013), 204÷228.
3. Clarkson P.J., Hamilton J.R., „Signposting, A Parameter-driven Task-based Model of the Design Process”, *Research in Engineering Design* 12 (2000), 18÷38.
4. Court A. W., „Issues for integrating knowledge in new product development: reflections from an empirical study”, *Knowledge-Based Systems* 11 (1998), 391÷398.
5. Ding L., Davies D., McMahon Ch. A., „The integration of lightweight representation and annotation for collaborative design representation”, *Res. Eng. Design* 19 (2009), 223÷228.
6. Hildre H.P., „CAE from first day designing complex machines”. *Proceedings of International Conference on Engineering Design ICED99; Munich, Germany* (1999), 715÷720.
7. Kitamura Y., Mizoguchi R., „Deployment of an ontological framework of functional design knowledge”, *Advanced Engineering Informatics* 18 (2004), 115÷127.
8. Lowe A., McMahon C., Shah T., Culley S., „An analysis of the content of technical information used by engineering designers”, *Proceedings of the 1999 ASME Design Engineering Technical Conferences*, (1999) CD.
9. McMahon C.A., Liu Y., Crossland R., Brown D., Leal D., Devlukia J., „A best practice advice system to support automotive engineering analysis processes”, *Engineering with Computers* 19 (2004), 271÷283.
10. Nomaguchi Y., Fujita K., „Knowledge representation framework for interactive capture and management of reflection process in product concepts development”, *Advanced Engineering Informatics* 27 (2013), 537÷554.
11. Oehlberg L., et al., „A Descriptive Study of Designers' Tools for Capturing, Reflecting on, and Sharing User Needs and Conceptual Designs”, *Proceedings of the ASME 2011 International Design Engineering Technical Conferences & Computers and Information in Engineering Conference IDET/CIE 2011*, 1÷9.
12. Oleksiński K., Pruszyński J., „Analysis of Knowledge Resources and the Methods for its Processing in the Conceptual Design”, *Conference Methods & Tools for CAE – concepts and applications, proceedings, Bochnia*, 2015, Politechnika Warszawska, Instytut Podstaw Budowy Maszyn, 105÷112.
13. Pahl G., Beitz W., and al., „Engineering Design: A Systematic Approach”, Springer-Verlag, 2007.
14. Panetto H. et al., „ONTO-PDM: Product-driven ONTOlogy for Product Data Management interoperability within manufacturing process environment”, *Advanced Engineering Informatics* 26 (2012), 334÷348.
15. Pokojski J., „IPA (Intelligent Personal Assistant) – Concepts and Applications in Engineering”, Springer-Verlag, London, 2004.
16. Pokojski J., P. Cichocki, „Intelligent Personal Assistant Concept in Context of Fault Analysis”, *Computer Assisted Mechanics and Engineering Sciences* 14, No 4 (2007), 591÷600.
17. Pokojski J., Pruszyński J., Oleksiński K., „Concepts of applications supporting process of design knowledge storage”, *Institute of Vehicles Scientific Papers* 4 (80) (2010), 71÷82.
18. Regli W.C., Hu X., Atwood M., Sun W., „A Survey of Design Rationale Systems: Approaches, Representation, Capture and Retrieval”, *Engineering with Computers* 16 (2000), 209÷235.
19. Sevilimis N., Stork A., „A Semantic-based Approach for Concurrent Engineering”, *ProSTEP iVIP Science Days 2007, Proceedings, Bremen* (2007), 136÷145.
20. Song F., Zacharewicz G., Chen D., „An ontology-driven framework towards building enterprise semantic information layer”, *Advanced Engineering Informatics* 27 (2013), 38÷50.
21. Stjepandic J. et al., 2015, „Concurrent Engineering in the 21st Century: Foundations”, *Developments and Challenges*.
22. Ullman, „The Mechanical Design Process”, McGraw-Hill (Third Edition), 2002. ■