

Projektowanie mechatroniczne. Projektowanie bazujące na modelach

Krzysztof Pietrusewicz

1. Wprowadzenie

W artykule niniejszym przedstawiono problematykę realizacji innowacyjnych prac nad systemami sterowania budowanymi z zastosowaniem programowalnych sterowników logicznych (PLC) oraz programowalnych sterowników automatyki (PAC). Cykl życia produktów mechatronicznych (robotów, obrabiarek sterowanych numerycznie, manipulatorów wieloosiowych, maszyn o złożonej kinematyce) zwykle rozpoczyna się od określenia wymagań funkcjonalnych, odzwierciedlających oczekiwania użytkowników końcowych co do projektowanego systemu/produktu.

Współcześnie innowacje produktowe nowych rozwiązań powstają na bazie trzech najważniejszych pobudek:

- zwiększenia wydajności produkcji;
- uproszczenia obsługi przez niedoświadczonych użytkowników, a tym samym skrócenie czasu wdrożenia do obsługi produktu/maszyny;
- zwiększenia szeroko rozumianego bezpieczeństwa użytkownika.

Projektowanie bazujące na modelach wspiera proces powstawania innowacyjnych produktów na kolejnych etapach: od opracowania specyfikacji funkcjonalnej, poprzez weryfikację i walidację koncepcji wybranych fragmentów systemu sterowania (z zastosowaniem m.in. techniki dynamicznej symulacji komputerowej czy *Hardware-in-the-loop*), którego architektura może zostać opracowana w oparciu o założenia wynikające ze standardów określających poziom bezpieczeństwa funkcjonalnego, aż po procedury automatycznego generowania kodu systemu sterowania dla platformy docelowej, stanowiącej integralną część produktu końcowego.

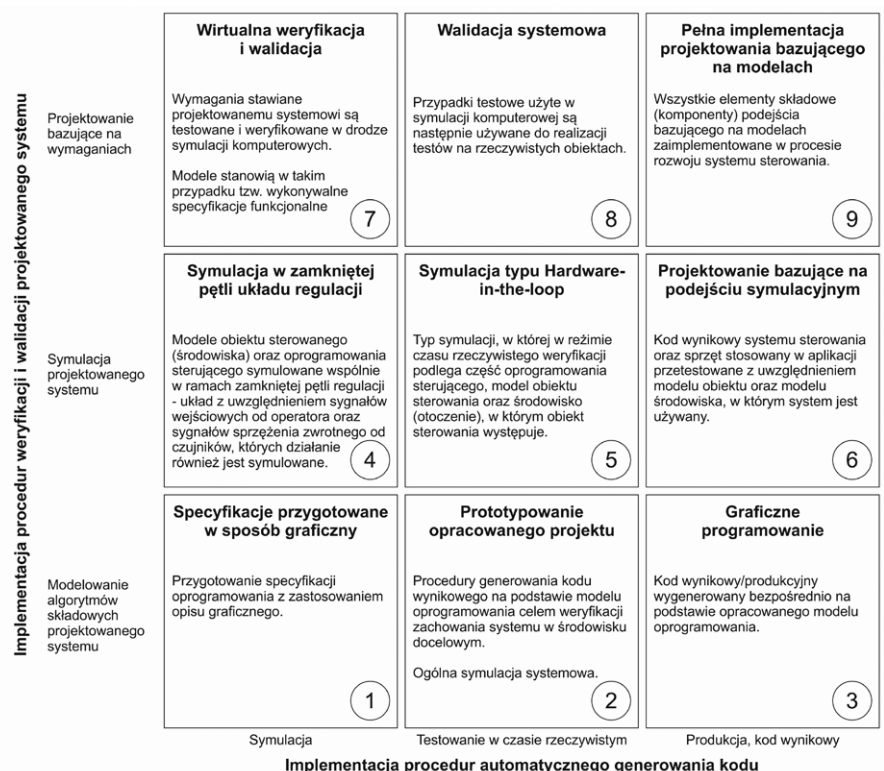
Narzędzia automatycznego generowania kodu, do niedawna dostępne

jedynie dla platform prototypowania systemów sterowania, będących nieodłącznym elementem warsztatu naukowego na uczelniach, współcześnie są jednym z elementów procesu powstawania innowacyjnych produktów, zaś projektowanie bazujące na modelach wiąże w intuicyjny sposób nowe koncepcje z finalnymi produktami, niezależnie od obszaru, w jakim taki produkt jest rozwijany. Modelować bowiem można nie tylko sam produkt, ale cały proces jego powstawania.

W pracy [1] zaprezentowano dziewięciostopniowy sposób określenia poziomu implementacji podejścia projektowania bazującego na modelach

w innowacyjnych przedsiębiorstwach. Zaprezentowano go na rysunku poniżej.

Przedsiębiorstwa czy też zespoły badawcze o najwyższym poziomie organizacji (rys. 1.9) procesu badawczego mogą poszczycić się pełną implementacją podejścia bazującego na modelach. Minimalnym początkiem jest jednak graficzny sposób opracowywania specyfikacji funkcjonalnych elementów systemu sterowania (rys. 1.1). Wykorzystanie graficznie przygotowanych specyfikacji do prowadzenia ogólnej symulacji systemowej (rys. 1.2) wraz z implementacją procedur generowania kodu wynikowego stanowi istotny krok w kierunku zastosowania podejścia bazującego na mode-



Rys. 1. Poziom zaadaptowania podejścia bazującego na modelach. Źródło: opracowanie własne na podstawie [1]

lach w pracach nad systemami sterowania maszyn.

Jeżeli opracowany model systemu (rys. 1.3) posłuży do wygenerowania kodu wynikowego, można wtedy powiedzieć o wysokim poziomie implementacji modelowania algorytmów składowych w procesie powstawania oprogramowania systemu sterowania.

O kolejnym poziomie zaawansowania zespołów projektowych świadczy zakres integracji symulacji komputerowej w rozwoju oprogramowania systemu sterowania. Podstawowy zakres implementacji (rys. 1.4) to symulacja modelu obiektu, środowiska oraz projektowanych algorytmów sterowania. Dzięki temu podejściu możliwe jest sprawdzenie np. wpływu przetwarzania sygnałów w torach pomiarowych sprzężeń zwrotnych. Symulacja typu *Hardware-in-the-loop* (rys. 1.5) to podejście, w którym skompilowany na podstawie modelu symulacyjnego kod uruchamiany jest w czasie rzeczywistego w wybranej

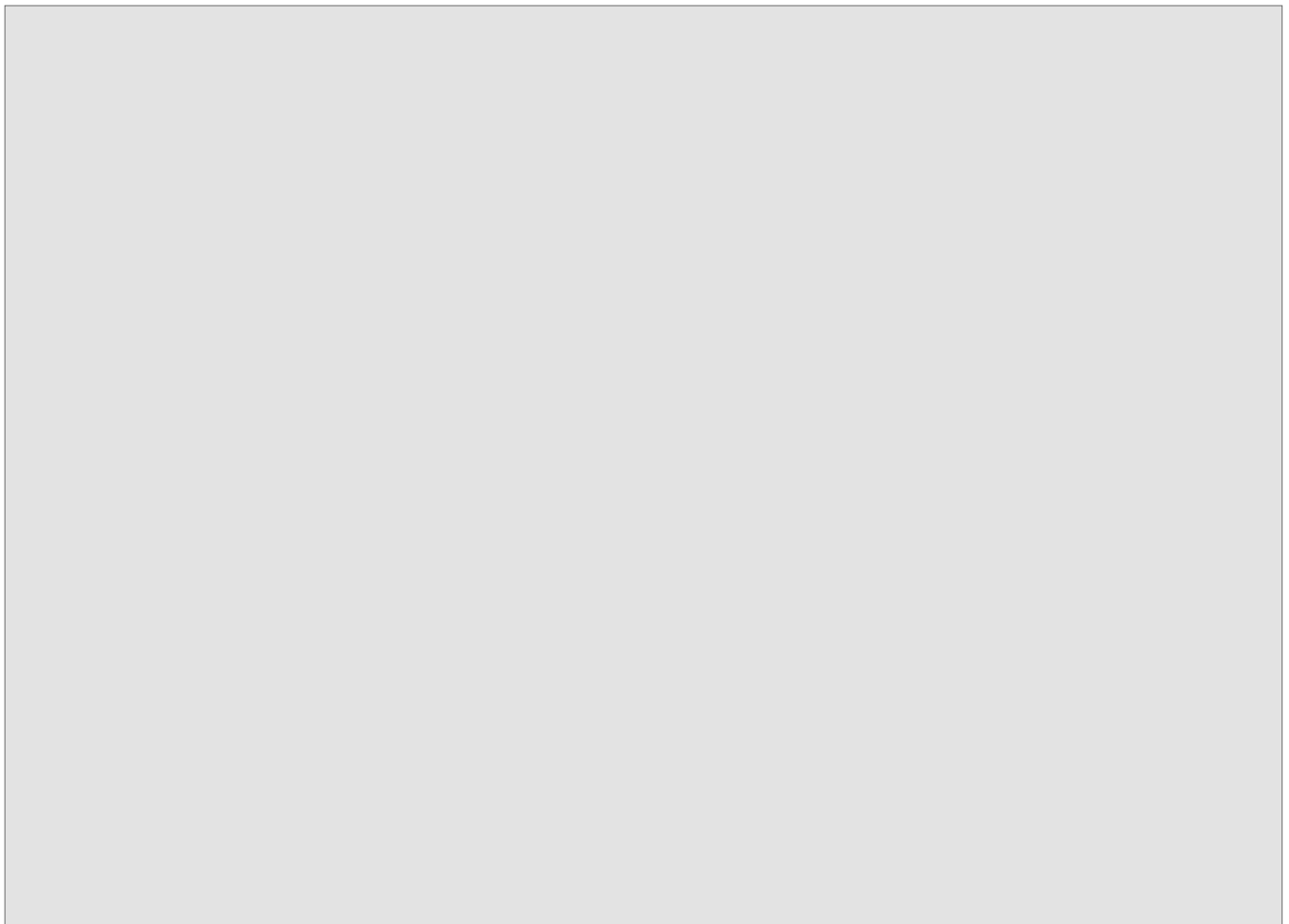
platformie sprzętowej. Może to być zarówno platforma sprzętowa typu dSpace, Opal-RT czy xPC Target (tzw. platformy szybkiego prototypowania), jak i wybrany model sterownika PLC/PAC. Jeżeli metoda *Hardware-in-the-loop* jest sposobem weryfikacji kodu wynikowego (produkcyjnego), wtedy mówimy o implementacji projektowania na poziomie z rys. 1.6.

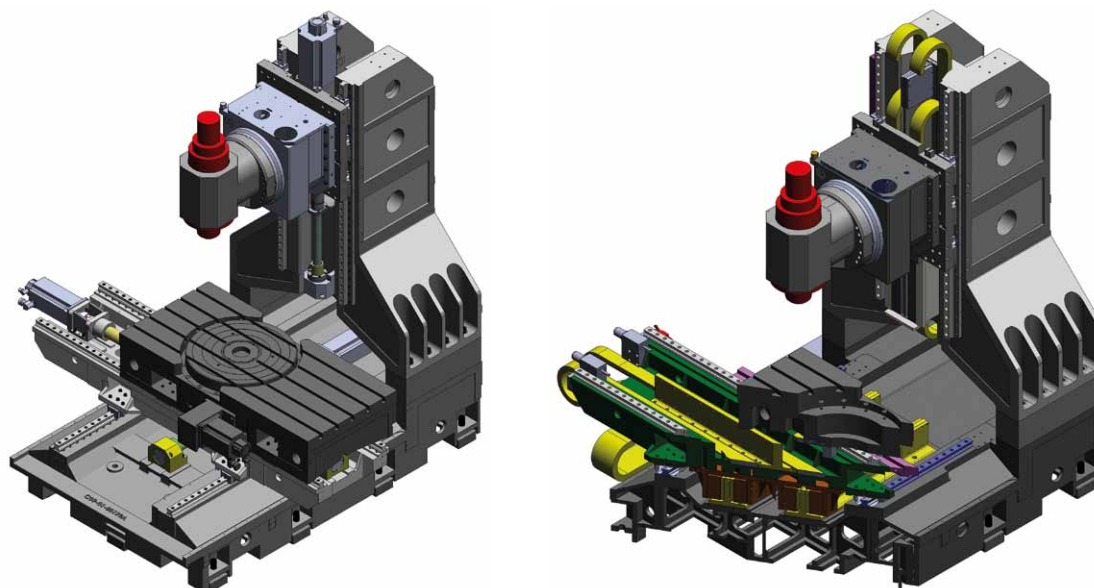
Najwyższy poziom wdrożenia projektowania bazującego na modelach osiągnęły te zespoły projektowe, które do prac nad systemami sterowania, poza integracją procedur symulacji komputerowej, posiadają systemy i/lub narzędzia wspomagające zarządzanie wymaganiami stawianymi produktom, nad których rozwojem te zespoły pracują. Zastosowanie modeli symulacyjnych (rys. 1.4) w powiązaniu z testami, udowadniającymi spełnienie stawianych projektowi/produktowi wymagań, jest podstawą tzw. wirtualnej weryfikacji i walidacji (rys. 1.7). Jeżeli te same testy (przypad-

ki testowe), które posłużyły do walidacji modeli symulacyjnych, przeprowadzane są na rzeczywistym obiekcie, możemy mówić o walidacji systemowej (rys. 1.8). O pełnej implementacji podejścia bazującego na modelach (rys. 1.9) stanowi dodatkowo istnienie procedur automatycznego generowania kodu wynikowego projektowanego systemu sterowania, po zakończeniu procedur weryfikacji i walidacji.

W przypadku implementacji procedur badawczych z obszaru systemów sterowania można przyjąć, iż przejście od poziomu z rys. 1.1 do pełnego modelu działania z rys. 1.9 może być procesem wieloletnim, pociągającym za sobą znaczące inwestycje, zarówno w zasoby materialne, jak i kompetencje członków zespołu. Jeżeli weryfikacja, walidacja i automatyczne generowanie kodu łączą modele symulacyjne (tzw. wykonywalne specyfikacje w przypadku implementacji na poziomach z rys. 1.7–9) z rzeczywistą implementacją, wtedy tempo prac

reklama





Rys. 2. Przykład wirtualnego prototypu - modyfikacja napędów zespołu posuwowego obrabiarki CNC z opcji konwencjonalnej na silniki liniowe. Produkt, niedostępny w opcji z silnikami liniowymi, posłużył do analizy celowości modyfikacji w poszczególnych trzech głównych osiach ruchu. Rezultaty analiz objęte poufnością projektu

nad nowymi wersjami produktów, jak również nowymi funkcjonalnościami produktów jest bardzo duże, zaś konkurencyjność zespołów projektowych bezdyskusyjna.

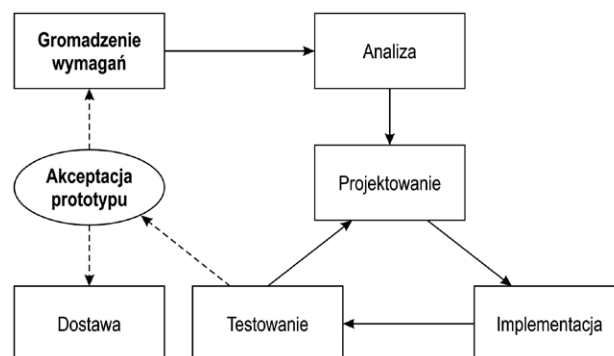
2. Prace nad innowacyjnymi projektami

Prace nad innowacyjnymi produktami zwykle odbywają się w ramach tzw. skróconego cyklu życia. Celem takiego projektu jest prototypowy produkt, który następnie trafia do testów u użytkownika końcowego, pomimo iż może nie posiadać pełnej funkcjonalności czy też wszystkich niezbędnych zabezpieczeń (obsługi trybów awaryjnych). Współcześnie szczytem możliwości technologicznych jest dostarczanie klientowi wirtualnego produktu np. w formie modelu dynamicznej symulacji komputerowej (rys. 2. 5-osiowe centrum obróbkowe), uwzględniającej właściwości finalnego produktu, nawet jeżeli fizyczny prototyp nie został wyprodukowany.

Schemat skróconego cyklu życia produktu zamieszczono na rysunku 3.

Na podstawie uproszczonych lub skróconych wymagań opracowuje się plan projektu, buduje prototyp, a następnie po jego akceptacji udostępnia użytkownikowi do testów. Dzięki temu powstaje

Rys. 3. Skrócony cykl życia produktu w wersji prototypowej



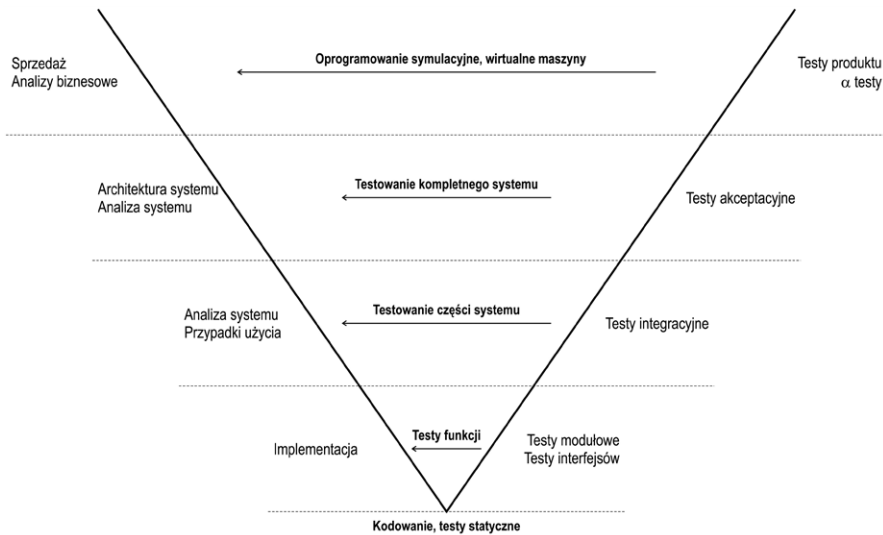
produkt w tzw. fazie alfa. Użytkowanie takiego produktu może stanowić źródło nowych pomysłów, jak również modyfikacji wymagań funkcjonalnych i/lub jakościowych dla finalnego produktu. W tym sensie możliwość budowania modeli wirtualnych jest tym bardziej istotna, gdyż koncepcje błędne bądź nie przynoszące oczekiwanych rezultatów mogą zostać wyeliminowane na wczesnym etapie projektu.

Gdy taki prototyp zostanie zaakceptowany, można bezpiecznie przejść do fazy pracy nad finalnym produktem. W standardzie [2] przedstawiono wytyczne dla projektowania systemów mechatronicznych. Model V jest współcześnie uznany sposobem realizacji

projektów w obszarze systemów sterowania. Prace nad projektami realizowane zgodnie z modelem V przedstawiono na rysunku 4.

Cykl życia projektu/produktu według modelu z rysunku 4 rozpoczyna się od analizy biznesowej oraz konsultacji wymagań z działami sprzedaży, np. w zakresie oczekiwanej przez klientów funkcjonalności. Współcześnie różnego rodzaju symulatory sprzętowe i programowe wspierają walidację i wstępne testy koncepcji produktów, zanim tak naprawdę zapadnie decyzja o ich fizycznej realizacji.

Analiza architektury systemu oraz jego funkcjonalności może zostać przeprowadzona na stosunkowo wysokim poziomie



Rys. 4. Projektowanie mechatroniczne. Implementacja pełnego modelu V [2]

w ramach dyskusji testów akceptacyjnych, jakim zostanie poddany finalny produkt.

System zaakceptowany do realizacji może następnie zostać doprecyzowany z pomocą tzw. modeli przypadków

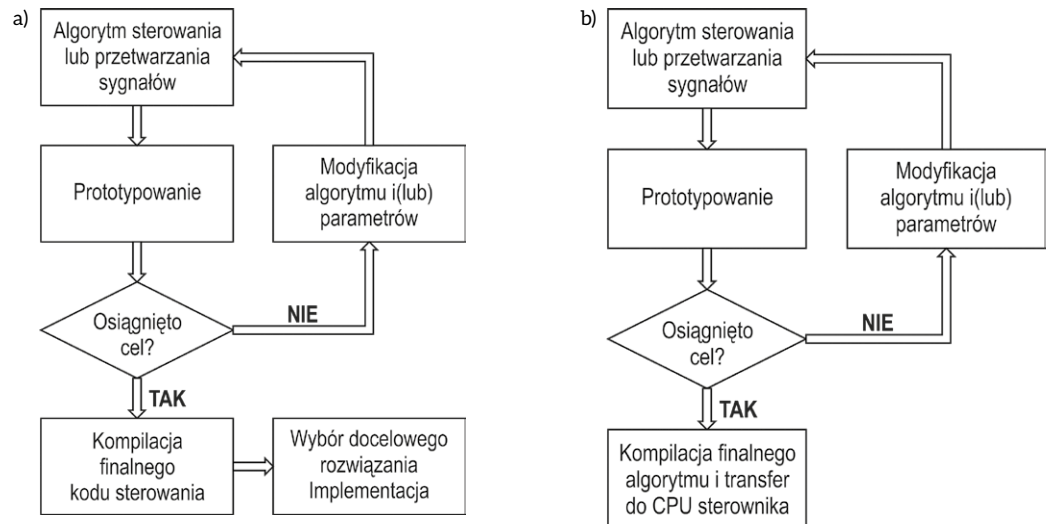
użycia. Przypadki użycia posłużą w kolejnych fazach projektu do przeprowadzenia testów integracyjnych (testów poszczególnych części) projektowanego systemu.

Na podstawie modelu przypadków użycia zespół projektowy dokonuje opracowania specyfikacji implementowanych funkcji stanowiących o finalnej funkcjonalności produktu. Testy modułowe służą do weryfikacji poprawności zaimplementowanych funkcji.

Kodowanie w modelu V jest czynnością wynikającą z całego ciągu decyzji projektowych, nie zaś aktywnością samą w sobie. Takie ukształtowanie projektu skutkuje minimalizacją ryzyka osiągnięcia założonego rezultatu – wymagania końcowe służą bowiem do realizacji prac w kolejnych fazach projektu.

Podejście zaprezentowane w ramach modelu V wspierane jest wspólnie przez oprogramowanie symulacyjne oraz IDE dla konkretnych produktów (sterowników programowalnych, programowalnych sterowników automatyki) zarówno w aspektach dynamicznej weryfikacji koncepcji, jak i procedur automatycznego generowania kodu systemu docelowego.

Rys. 5. Podejście klasyczne (a), naukowe oraz przemysłowe (b) do zagadnienia prototypowania algorytmów



3. Projektowanie systemów bazujące na modelach

W pracach [1, 3] podkreśla się wagę zastosowania podejścia projektowania systemów sterowania bazującego na modelach: obiektu sterowania oraz algorytmu sterowania tymże obiektem. Modelowanie systemów musi mieć jednak swoje uzasadnienie. Modelowanie, podobnie jak każda czynność projektowa, zajmuje czas i wymaga odpowiednich zasobów, zarówno ludzkich, jak i odpowiedniego sprzętu, oprogramowania, kompetencji, wiedzy, umiejętności czy paradoksalnie poziomu wykształcenia technicznego.

Model stanowi abstrakcyjne odzwierciedlenie systemu, którego sterowanie jest celem projektu. Czasami modele uwzględniają również środowisko – otoczenie, w którym funkcjonuje modelowany system. Wraz z modelem powiązany jest również tzw. metamodel lub inaczej model modelu – notacja, język opisu modelu o ograniczonej semantyce. Metamodel może być zarówno graficzny, jak i tekstowy [3].

Inwestycja w projektowanie bazujące na modelach ma swoje uzasadnienie w następujących przypadkach: gdy modelowany system jest duży/rozległy, skomplikowany, gdy łączy w sobie różne domeny (elektryczną, mechaniczną, hydrauliczną), gdy modelowany system jest miniaturowy, gdy eksperymenty, które należy przeprowadzić celem weryfikacji koncepcji są kosztowne (zarówno pod względem czasu, jak i pieniędzy), a co zwykle najważniejsze – gdy modelowany

system ma być modyfikowany i fizycznie w trakcie prac nad systemem sterowania nie jest dostępny.

Z drugiej strony, modelowanie systemów, a co za tym idzie – inwestycja w sprzęt i oprogramowanie wydają się nieuzasadnione, gdy projektowany jest unikalny produkt, niebędący w przyszłości przedmiotem modyfikacji czy dostępności na rynku w więcej niż jednym wariantcie.

Jak wynika z powyższego, decyzja o modelowaniu systemu na potrzeby pracy nad systemem sterowania jest zwykle decyzją indywidualną.

4. Prototypowanie w systemach docelowych a podejście naukowe

Na temat prototypowania systemów sterowania powiedziano już wiele. Wiele jest na rynku dostępnych rozwiązań oferujących wsparcie na różnych fazach projektu. To jednak, co odróżnia współcześnie dostępne na rynku narzędzia sprzętowe i programowe, to podejście do prac nad rozwiązaniem docelowym. Na rysunku 5 przedstawiono dwa najpopularniejsze podejścia.

Gdy do prac nad nowymi algorytmami sterowania wykorzystujemy platformy, wspierające prototypowanie w ujęciu z rys. 5 a, wtedy kwestią dodatkową jest implementacja rozwiązania w systemie docelowym, w produkcji seryjnej. Podejście z rys. 5 b, polegające na prototypowaniu zapewnia projektantom oraz implementatorom komfort weryfikacji opracowanych algorytmów w systemie docelowym, to znaczy takim, który sta-

nowić będzie integralną część finalnego produktu/maszyny.

Przykłady realizacji zgodnie z podejściami zostaną omówione w jednym z kolejnych artykułów. Współcześnie bowiem zarówno sterowniki PLC, jak i PAC stanowią bardzo efektywne platformy prototypowania nowych systemów sterowania zgodnie z podejściem z rys. 5 b.

5. Podsumowanie

W kolejnym artykule przybliżymy Czytelnikom technikę *Hardware-in-the-loop*, stosowaną powszechnie w projektowaniu systemów sterowania, pozwalającą w bezpieczny sposób testować najbardziej innowacyjne koncepcje. Jak wynika z modelu przedstawionego na rysunku 1.5, technikę stanowiącą o stosunkowo wysokim poziomie świadomości zespołu badawczego czy przedsiębiorstwa, które taką technikę stosuje w swoich projektach.

Literatura

- [1] ROGER A.: *Managing model-based design*. 2015.
- [2] VDI – Association of German Engineers, „VDI 2206 – Design methodology for mechatronic systems” Design, no. June. p. 118, 2004.
- [3] KELLY S., TOLVANEN J.-P.: *Domain-Specific Modeling*. 2008.

dr hab. inż. Krzysztof Pietruszewicz – Zachodniopomorski Uniwersytet Technologiczny w Szczecinie, Wydział Elektryczny