

Obiektowe podejście w modelowaniu procesów pomiarowych w badaniach pojazdów szynowych

W artykule przedstawiono zastosowanie wybranych formalizmów w modelowaniu procesów pomiarowych. Przedstawiono diagramy UML dla przykładowych elementów modelu procesu pomiarowego. Podkreślono korzyści wynikające z zastosowania modelu obiektowego.

1 Wprowadzenie

Proces pomiarowy jest realizowany w celu wyznaczenia wartości wielkości reprezentujących badany układ. Modelowanie procesu pomiarowego ma coraz większe znaczenie jako etap przygotowawczy do projektowania systemu pomiarowego. W modelach procesów pomiarowych stosowane są formalizmy matematyczne na różnym poziomie abstrakcji: model lingwistyczny, model w postaci diagramów funkcjonalnych [2,3], model topologiczny [5]. Epistemologiczne aspekty modelowania procesu pomiarowego przedstawiono w [2].

Ze względu na postęp w zakresie badań eksperymentalnych, wynikający z zastosowania nowoczesnych układów sterowania i regulacji oraz wprowadzania w szerokim zakresie techniki komputerowej, zaistniała konieczność integracji działań specjalistów z wielu dziedzin w procesie projektowania systemów pomiarowych. W tym celu w modelowaniu procesu pomiarowego zaproponowano podejście obiektowe [4,6].

2 Modelowanie procesu pomiarowego za pomocą odwzorowań

Uogólniony model procesu pomiarowego przedstawiono w postaci odwzorowania oznaczonego PP

$$PP : A \rightarrow B \quad (1)$$

gdzie:

- A – zbiór atrybutów reprezentujących badany układ i jego działanie $A = \{A_1, \dots, A_i, \dots\}$,
- B – zbiór symboli reprezentujący zmierzone wartości $B = \{B_1, \dots, B_j, \dots\}$.

Pierwotną operacją w procesie pomiarowym jest wydzielenie badanego układu z otoczenia oraz wybór wielkości reprezentujących układ i jego działanie. W wyniku uzyskano zbiór X^R przyjęty jako model rzeczywistego układu.

$$X^R = \{X_1^R, \dots, X_r^R, \dots\} \quad (2)$$

Wielkość X_r^R opisano strukturą algebraiczną:

$$X_r^R = \langle \{x_{r1}, \dots, x_{ru}\}, \mathfrak{R}^R \rangle \quad (3)$$

gdzie:

- x_{r1}, \dots, x_{ru} – wartości atrybutu X_r^R ,
- \mathfrak{R}^R – relacja w zbiorze X_r^R .

Na zbiorze wielkości X^R przeprowadzono operację związaną z wyznaczaniem wielkości bezpośrednio mierzalnych, które zapisano w postaci zbioru X^M .

$$X^M = \{X_1^M, \dots, X_m^M, \dots\} \quad (4)$$

Wielkość X_m^M opisano strukturą algebraiczną:

$$X_m^M = \langle \{x_{m1}, \dots, x_{mv}\}, \mathfrak{R}^M \rangle \quad (5)$$

gdzie:

- x_{m1}, \dots, x_{mv} – wartości atrybutu X_m^M ,
- \mathfrak{R}^M – relacja w zbiorze X_m^M .

Wielkościom mierzalnym X^M przypisano zbiór czujników pomiarowych, których wyjścia zapisano zbiorem X^C .

$$X^C = \{X_1^C, \dots, X_c^C, \dots\} \quad (6)$$

Wielkość X_c^C opisano strukturą algebraiczną:

$$X_c^C = \langle \{x_{c1}, \dots, x_{cw}\}, \mathfrak{R}^C \rangle \quad (7)$$

gdzie:

- x_{c1}, \dots, x_{cw} – wartości atrybutu X_c^C ,
- \mathfrak{R}^C – relacja w zbiorze X_c^C .

Dla przypadku, gdy w układzie pomiarowym zastosowano przetwornik, wyjściom z przetwornika przypisano zbiór X^P .

$$X^P = \{X_1^P, \dots, X_p^P, \dots\} \quad (8)$$

Wielkość X_p^P opisano strukturą algebraiczną:

$$X_p^P = \langle \{x_{p1}, \dots, x_{px}\}, \mathfrak{R}^P \rangle \quad (9)$$

gdzie:

x_{p1}, \dots, x_{px} – wartości atrybutu X_p^P ,

\mathfrak{R}^P – relacja w zbiorze X_p^P .

Wielkości uzyskane z przetwornika poddano przetwarzaniu za pomocą odpowiednich procedur otrzymując zbiór X^S .

$$X^S = \{X_1^S, \dots, X_s^S, \dots\} \quad (10)$$

Wielkość X_s^S opisano strukturą algebraiczną:

$$X_s^S = \langle \{x_{s1}, \dots, x_{sy}\}, \mathfrak{R}^S \rangle \quad (11)$$

gdzie:

x_{s1}, \dots, x_{sy} – wartości atrybutu X_s^S ,

\mathfrak{R}^S – relacja w zbiorze X_s^S .

W celu uzyskania oceny układu poddanego pomiarowi, wielkości opisane zbiorem X^S odpowiednio przekształcono otrzymując zbiór X^O .

$$X^R \xrightarrow{\alpha} X^M \xrightarrow{\beta} X^C \quad (14)$$

$$\xrightarrow{\gamma} X^P \xrightarrow{\delta} X^S \xrightarrow{\varepsilon} X^O$$

gdzie:

$\{\alpha\}$ – zbiór odwzorowań związanych z wyborem mierzalnych atrybutów,

$\{\beta\}$ – zbiór odwzorowań wynikających z wyboru czujników pomiarowych,

$\{\gamma\}$ – zbiór odwzorowań wynikających z wyboru przetworników pomiarowych,

$\{\delta\}$ – zbiór odwzorowań związanych z wyborem procedur przetwarzania,

$\{\varepsilon\}$ – zbiór odwzorowań związanych z wyborem procedur oceniania.

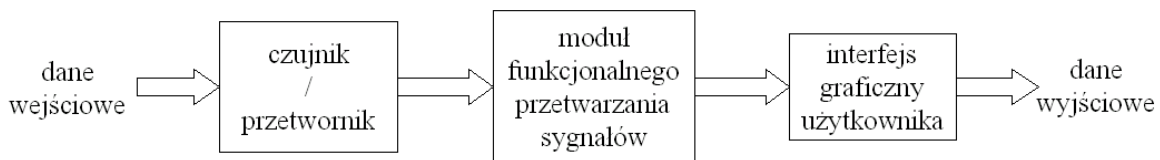
Zbiór wariantów modeli procesu pomiarowego przedstawiono jako iloczyn kartezjański:

$$X^R \times \{\alpha\} \times X^M \times \{\beta\} \times X^C \times \{\gamma\} \times X^P \times \{\delta\} \times X^S \times \{\varepsilon\} \times X^O \quad (15)$$

3 Funkcjonalne ujęcie procesu pomiarowego

Systemy pomiarowe są modelowane zwykle za pomocą modeli funkcjonalnych. Architektura takiego modelu reprezentowana jest blokami funkcjonalnymi charakteryzowanymi związkami między wejściem a wyjściem w postaci tak zwanej funkcji przejścia (rys. 1):

- blok czujnika lub przetwornika,
- blok funkcjonalnego przetwarzania sygnałów,
- blok interfejsu graficznego użytkownika.



Rys. 1. Model procesu pomiarowego w ujęciu funkcjonalnym

$$X^O = \{X_1^O, \dots, X_o^O, \dots\} \quad (12)$$

Wielkość X_o^O opisano strukturą algebraiczną:

$$X_o^O = \langle \{x_{o1}, \dots, x_{oz}\}, \mathfrak{R}^O \rangle \quad (13)$$

gdzie:

x_{o1}, \dots, x_{oz} – wartości atrybutu X_o^O ,

\mathfrak{R}^O – relacja w zbiorze X_o^O .

Model procesu pomiarowego przedstawiono za pomocą diagramów przekształceń.

Reprezentacja funkcjonalna jest bardzo rozpowszechniona w klasyfikacji systemów pomiarowych.

Poszczególne bloki modelu funkcjonalnego reprezentują wybrane, fizyczne urządzenie, interfejs lub sensor. Nie ma natomiast możliwości uwzględnienia w tym modelu istotnych dla procesu pomiarowego czynników, takich jak środowisko pomiarowe czy czynnik ludzki, co ogranicza stosowanie modeli funkcjonalnych.

Innym, ważnym aspektem ograniczającym stosowanie funkcjonalnych modeli pomiarowych jest fakt, że służą one do modelowania tylko wybranych, specyficznych typów pomiarów. Powoduje to, że modele takie

są trudne do uaktualniania lub zastosowania sprawdzonych już rozwiązań w innych systemach pomiarowych.

Modele funkcjonalne posiadają również znaczne ograniczenia w modelowaniu oddziaływania między poszczególnymi elementami systemu pomiarowego, a w szczególności relacji obiekt pomiaru \Leftrightarrow urządzenie pomiarowe. Powoduje to niekompletny opis systemu pomiarowego, a w konsekwencji niekompletne wyniki pomiarów.

Rzeczywiste systemy pomiarowe pojazdów szynowych charakteryzują się coraz większą złożonością. W strukturze występują podukłady mechaniczne, hydrauliczne, elektryczne układy analogowe i cyfrowe oraz układy mikroprocesorowe. Stosowane są układy sterowania i regulacji. Badany układ jest układem hybrydowym, to znaczy, że jego działanie ma charakter ciągły w czasie (modelowane za pomocą układu równań różniczkowo-algebraicznych) i dyskretny w czasie (modelowane za pomocą równań różnicowych).

Modelem działania tak złożonego układu jest automat o skończonym zbiorze stanów wewnętrznych, którego przejścia ze stanu do stanu odbywają się według określonej sekwencji lub spowodowane są wystąpieniem określonych zdarzeń. W modelowaniu procesu pomiarowego dla układu hybrydowego zastosowano wieloaspektową dekompozycję przyjmując następujące założenia:

- (1) w układzie występują różne elementy, między którymi zachodzą określone relacje,
- (2) elementy przekazują sobie informacje w określonej postaci,
- (3) elementy współpracują ze sobą w określony sposób,
- (4) każdy element może znajdować się w różnych stanach,
- (5) operacje numeryczne są wykonywane w określonej strukturze informatycznej,
- (6) każdy element komuś/czemuś służy.

4 Obiektowe ujęcie procesu pomiarowego

Aspekty przedstawione w punkcie 3 zostały sformalizowane za pomocą języka modelowania obiektowego UML (Unified Modeling Language) [1].

Głównymi cechami podejścia obiektowego są:

- enkapsulacja – wydzielenie zewnętrznych aspektów charakteryzujących obiekt, które są udostępniane innym obiektom, od aspektów wewnętrznych, na przykład implementacyjnych,
- dziedziczenie – pozwala na hierarchizację struktury modelu,
- polimorfizm – pozwala na specjalizację poszczególnych aspektów obiektów modelu.

Modelowanie w języku UML polega na graficznej reprezentacji różnych aspektów modelowanego układu

za pomocą wybranych typów diagramów. Każdy diagram składa się z węzłów i powiązań między nimi, zwanych krawędziami. Każdy typ diagramu udostępnia własny zestaw węzłów i krawędzi, za pomocą których można modelować poszczególne aspekty systemu.

Diagramy UML dzielą się na diagramy strukturalne, służące do obrazowania statycznych aspektów modelowanego układu:

- diagram klas – klasy, interfejsy i pakiety,
- diagram obiektów – obiekty,
- diagram komponentów – komponenty,
- diagram wdrożenia – węzły,

oraz na diagramy behawioralne, służące do obrazowania dynamicznych aspektów modelowanego układu:

- diagram stanów – zmiany stanów spowodowane zdarzeniami,
- diagram czynności – przepływy sterowania od czynności do czynności,
- diagram sekwencji – kolejność wysyłania komunikatów w czasie,
- diagram kooperacji – struktura obiektów wysyłających i odbierających komunikaty,
- diagram przypadków użycia – scenariusze użycia systemu.

Typy, liczba oraz kolejność diagramów zastosowanych w procesie modelowania systemu zależy od specyfiki tegoż systemu, celów modelowania oraz od punktu widzenia osoby modelującej. Bardzo rzadko zdarza się, by model zawierał diagramy tylko jednego typu lub zawierał wszystkie typy diagramów udostępnianych przez UML.

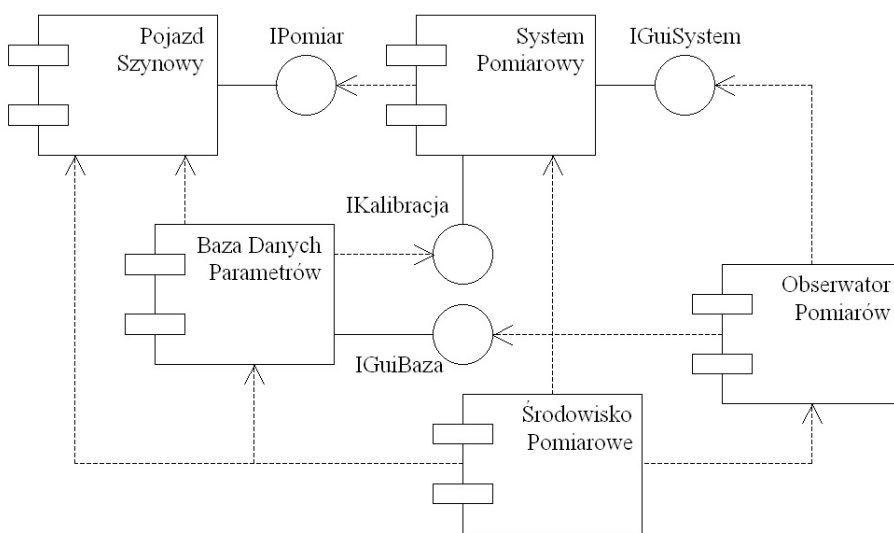
W kolejnych punktach przedstawiono wszystkie typy diagramów dostępnych w notacji UML. Diagramem wyjściowym modelu jest diagram komponentów, który prezentuje proces pomiarowy pojazdu szynowego. Kolejne diagramy uszczegółwiają wybrane aspekty strukturalne i behawioralne modelu.

4.1 Diagram komponentów

Diagramy komponentów prezentują statyczną strukturę modelowanego procesu. Komponenty reprezentują złożone składniki strukturalne modelu i zawierają klasy, interfejsy, typy oraz pakiety. Na zewnątrz komponentów umieszcza się ich publiczne interfejsy służące do komunikacji między komponentami – jeden z komponentów eksportuje interfejs, a inne go importują.

W diagramach komponentów wyróżnia się dwa typy powiązań (krawędzie diagramu):

- realizacje – powiązania między komponentami i udostępnianymi przez nie interfejsami,
- zależności – powiązania między dwoma komponentami (bez wyszczególnienia interfejsów, za pomocą których się komunikują) oraz pomiędzy komponentami a interfejsami udostępnianymi przez inne komponenty.



Rys. 2. Diagram komponentów modelu procesu pomiarowego

- klasy, zawierające zarówno atrybuty jak i operacje, będące uogólnieniem fizycznego lub abstrakcyjnego aspektu struktury modelowanego układu,
- interfejsy, definiujące zestaw operacji oferowanych przez klasy i pakiety,
- typy danych, zawierające wyłącznie atrybuty, służące do grupowania danych przekazywanych między klasami,
- pakiety, będące elementami grupującymi dla pozostałych rodzajów węzłów diagramu klas.

Na rys. 2 przedstawiono diagram komponentów modelu procesu pomiarowego. Wyodrębniono pięć komponentów:

- *Pojazd Szynowy* reprezentujący układ podlegający pomiarom,
- *System Pomiarowy* interpretowany jako zespół urządzeń biorących udział w pomiarach, ich przetwarzaniu oraz prezentacji wyników pomiarów,
- *Baza Danych Parametrów* reprezentujący zbiór danych o wielkościach pomiarowych, zestawy parametrów urządzeń pomiarowych oraz biblioteki procedur pomiarowych,
- *Obserwator Pomiarów* interpretowany jako osoba (osoby) biorące udział w procesie pomiarowym,
- *Środowisko Pomiarowe* reprezentujące otoczenie procesu pomiarowego.

Obserwator Pomiarów poprzez interfejs *IGuiBaza* korzysta z *Bazy Danych Parametrów* i przygotowuje *System Pomiarowy* (np. kalibracja czujników pomiarowych, ustawianie filtrów i procedur przetwarzania danych). Następnie, korzystając z interfejsu graficznego *IGuiSystem*, udostępnianego przez komponent *System Pomiarowy*, przeprowadza pomiary.

Komponent *Pojazd Szynowy* udostępnia interfejs *IPomiar* pozwalający *Systemowi Pomiarowemu* na odczytywanie wartości wielkości mierzalnych badanego układu.

Środowisko Pomiarowe wprowadza na każdym etapie procesu pomiarowego zakłócenia, co pozwala zamodelować wpływ otoczenia na pozostałe wyodrębnione komponenty.

4.2 Diagram klas

Diagramy klas odnoszą się do statycznych aspektów modelu i dlatego zawierają tylko elementy deklarytywne. Diagramy te pozwalają zaprezentować strukturę modelowanego systemu oraz powiązania wewnątrz struktury. Węzłami diagramów klas są:

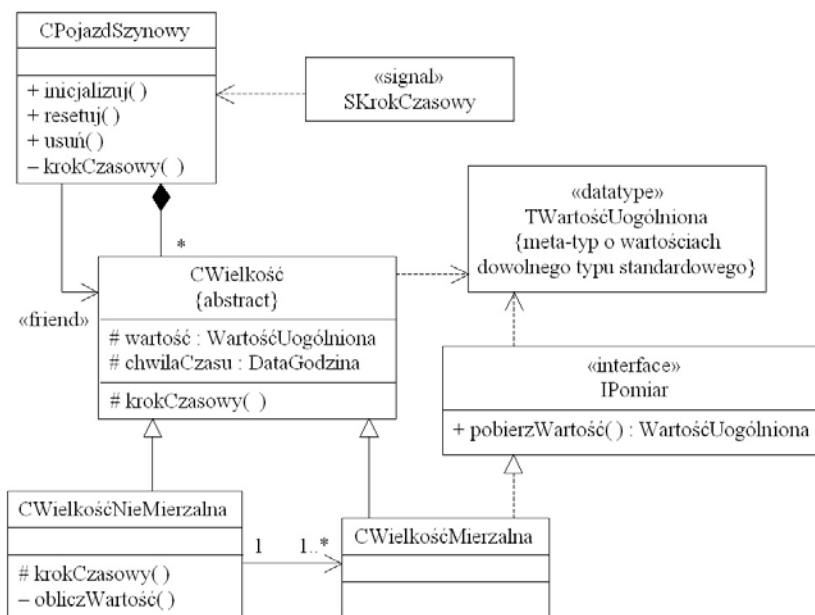
Poszczególne węzły diagramów klas mogą znajdować się w określonych relacjach, zwanych powiązaniem. Rozróżnia się następujące typy powiązań:

- proste – powiązanie, którego znaczenie określone jest poprzez powiązany z nim opis tekstowy oraz liczebność powiązanych węzłów, może być dwuargumentowe (łącznie dwa węzły diagramu) lub wieloargumentowe (łącznie trzy lub więcej węzły diagramu),
- dziedziczenie – powiązanie określające mechanizm, dzięki któremu węzły szczegółowe przejmują strukturę i behawioryzm węzłów ogólnych,
- agregacja – powiązanie określające związek typu „całość - część” między węzłem zawierającym oraz węzłem zawieranym,
- kompozycja – szczególny typ agregacji, w którym czas życia węzła zawieranego (składowego) całkowicie zdeterminowany jest przez czas życia agregatu.

Na rys. 3 pokazany został przykładowy diagram klas prezentujący strukturę komponentu *Pojazd Szynowy* (aby w pełni opisać model procesu pomiarowego należałoby utworzyć diagramy klas dla wszystkich komponentów, jednak wykracza to poza zakres niniejszego artykułu).

Do utworzenia nazw węzłów diagramu zastosowano notację, w której pierwsza litera nazwy identyfikuje rodzaj węzła: litera C oznacza klasę, litera I oznacza interfejs, litera T – typ danych, a litera S – sygnał.

Klasa *CPojazdSzynowy* reprezentuje fizyczny układ podlegający pomiarom. Może on posiadać dowolną liczbę wielkości, które go opisują (klasa *CWielkość*). W modelu rozróżnione zostały dwie podklasy wielkości charakteryzujących badany układ – wielkości mierzalne i wielkości niemierzalne, reprezentowane odpowiednio przez klasy *CWielkośćMierzalna* oraz *CWielkośćNiemierzalna*, przy czym każda wielkość



Rys. 3. Diagram klas dla komponentu *Pojazd Szynowy*

niemierzalna jest opisana przez co najmniej jedną wielkością mierzalną.

Wartości wielkości mierzalnych udostępniane są przez klasę *CWielkośćMierzalna* za pomocą interfejsu *IPomiar*, który wykorzystuje typ danych *TWartośćUogólniona* do przechowywania wartości dowolnych typów danych.

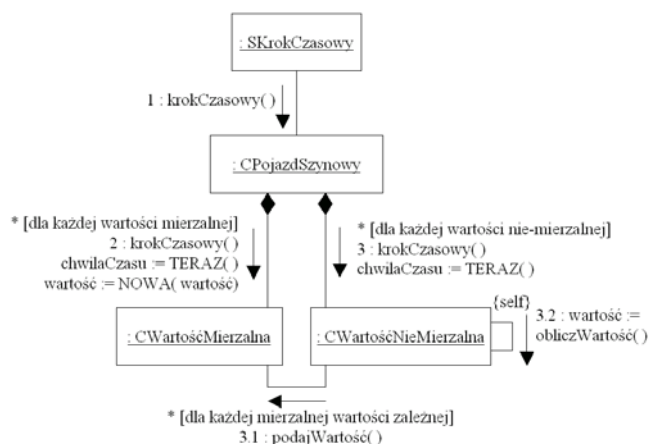
Sygnal *SKrokCzasowy* służy w modelu do generowania odstępów czasowych, w których wartości wielkości opisujących pojazd szynowy są uaktualniane.

4.3 Diagram kooperacji

Diagramy kooperacji dotyczą organizacji obiektów uczestniczących w interakcjach. W węzłach grafu umieszczane są obiekty biorące udział w wymianie komunikatów (nazwy są podkreślone, co oznacza fizyczne wystąpienie obiektu danej klasy), natomiast krawędzie reprezentują powiązania między obiektami uzupełnione o wysyłane/odbierane komunikaty.

W celu przedstawienia komunikatów na osi czasu, oznacza się je kolejnymi liczbami naturalnymi. Do opisu komunikatów zagnieżdżonych stosuje się notację Deweya, która polega na oznaczaniu komunikatów podstawowych kolejnymi liczbami naturalnymi (1, 2, ...), a komunikaty zagnieżdżone otrzymują kolejne numery poprzedzone numerem komunikatu podstawowego i kropką (np. dla komunikatu oznaczonego 1 są to 1.1, 1.2, ...).

Na rys. 4 przedstawiony został diagram kooperacji prezentujący proces uaktualniania wartości wielkości opisujących pojazd szynowy. W momencie wystąpienia sygnału *SKrokCzasowy*, pojawiającego się w stałych odstępach czasowych, wywoływana jest operacja 1: *krokCzasowy()* obiektu klasy *CPojazdSzynowy*.



Rys. 4. Diagram kooperacji uaktualniania wartości wielkości opisujących pojazd szynowy

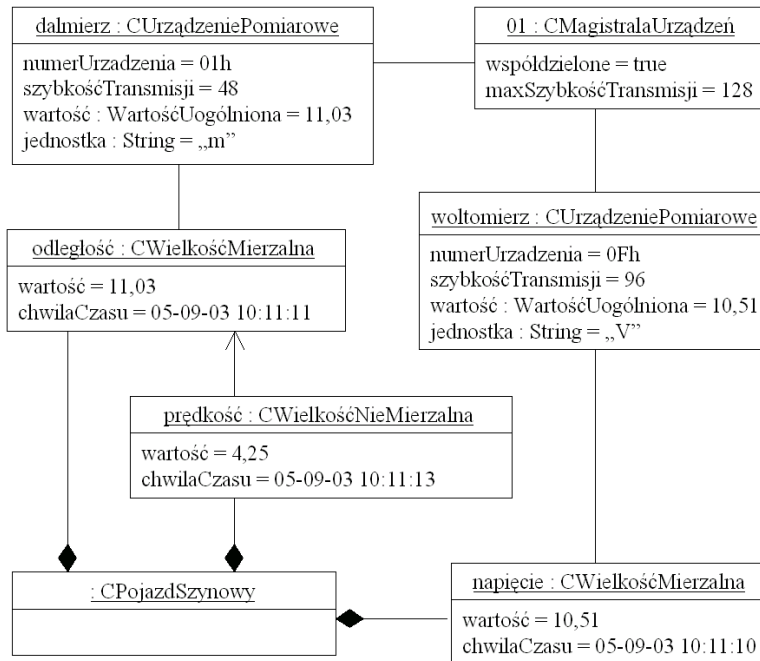
4.4 Diagram obiektów

Diagramy obiektów są pochodnymi diagramów klas. Przedstawiają one, dla wybranej chwili, obiekty, będące realizacjami fizycznymi abstrakcji, jakimi są klasy, oraz powiązania między nimi.

Węzłami diagramów obiektów są wyłącznie obiekty, posiadające zdefiniowane wartości dla prezentowanych atrybutów. Powiązania między obiektami nie posiadają oznaczeń kardynalnych (określających liczebność węzłów dla konkretnego powiązania), gdyż każde z nich występuje między dwoma (lub wieloma, dla powiązań wieloargumentowych) konkretnymi obiektami.

Na rys. 5 przedstawiony został przykładowy diagram obiektów. Prezentuje on strukturę połączeń pomiędzy obiektami komponentu *Pojazd Szynowy*:

- wielkościami mierzalnymi (obiekty *odległość* oraz *napięcie* klasy *CWielkośćMierzalna*),



Rys. 5. Diagram obiektów dla wybranych klas modelu

- wielkością niemierzalną (obiekt *prędkość* klasy *CWielkośćNieMierzalna*),
 - przedmiotem pomiaru (obiekt klasy *CPojazdSzynowy*),
- oraz obiektami komponentu *System Pomiarowy*:
- magistralą interfejsu urządzeń pomiarowych (obiekt *01* klasy *CMagistralaUrządzeń*),
 - urządzeniami pomiarowymi (obiekty *dalmierz* i *woltomierz* klasy *CUrządzeniePomiarowe*).

4.5 Diagram stanów

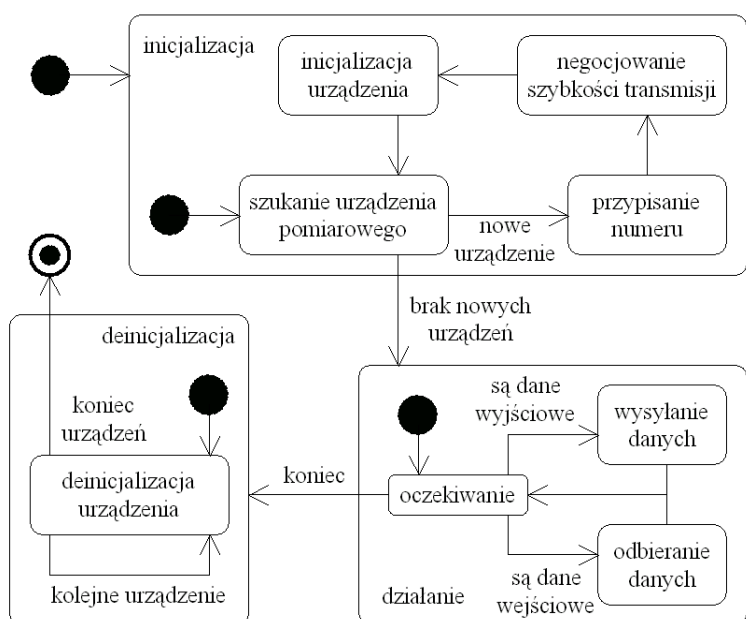
Diagramy stanów są podstawowymi diagramami behawioralnymi w modelu UML. Prezentują one tak zwany cykl życia dla obiektów danej klasy. Zazwyczaj model zawiera tylko kilka diagramów stanów dla obiektów wybranych (ważniejszych) klas.

Każdy diagram stanów posiada stan początkowy (oznaczony wypełnionym, czarnym kółkiem), stany pośrednie (przedstawione jako prostokąty z zaokrąglonymi rogami, z nazwą stanu wpisaną wewnątrz prostokąta) oraz stan końcowy (oznaczony wypełnionym, czarnym kółkiem zawartym w okręgu). W celu poprawienia czytelności diagramu można wyodrębnić tak zwane stany złożone, zawierające kilka stanów zagnieżdżonych.

Przejście obiektu z jednego stanu do drugiego oznaczane jest strzałką. Stan docelowy determinowany jest przez stan, w którym obiekt aktualnie się znajduje oraz zdarzenia zewnętrzne lub/i czasowe.

Na rys. 6 przedstawiony został przykładowo diagram stanów obiektów klasy *CMagistralaUrządzeń*. Wyodrębnione zostały trzy stany złożone: *inicjalizacja*, *działanie* oraz *deinicjalizacja*, z których każdy posiada jeden lub więcej stanów zagnieżdżonych.

Przejście ze stanu *inicjalizacja* do stanu *działanie* następuje, gdy zakończona zostanie inicjalizacja wszystkich urządzeń pomiarowych podłączonych do magistrali. Przejście ze stanu *działanie* do stanu *deinicjalizacja* realizowane jest, gdy nastąpi koniec wymiany danych poprzez magistralę.

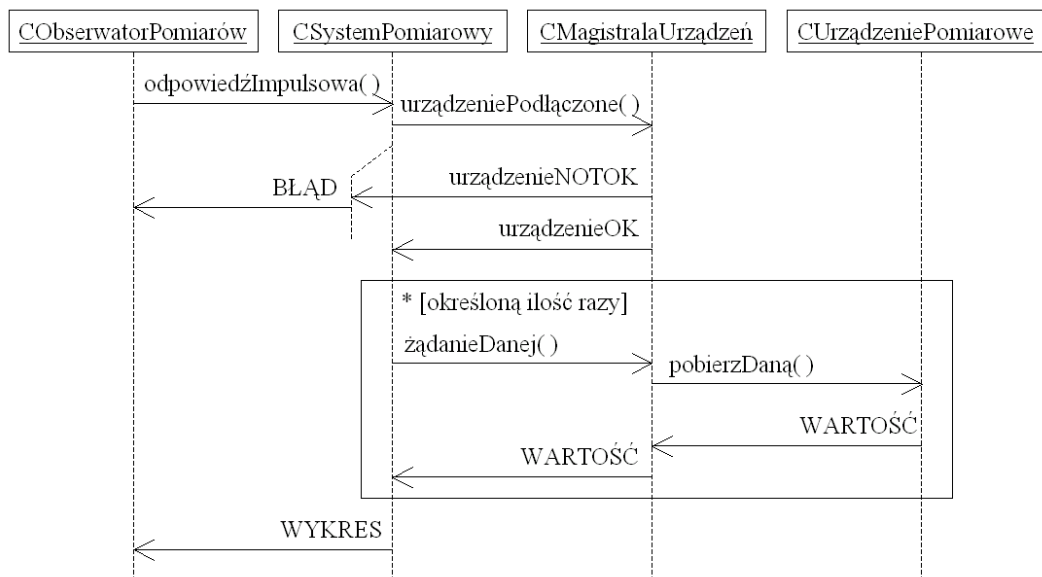


Rys. 6. Diagram stanów obiektów klasy *CMagistralaUrządzeń*

4.6 Diagram sekwencji

Diagramy sekwencji służą do przedstawiania komunikatów przekazywanych przez obiekty modelowanego systemu. Charakterystyczną cechą diagramu sekwencji jest oś czasu reprezentowana przez pionowe, przerywane linie biegnące w dół od każdego obiektu przedstawionego na diagramie. Pozwala to nie tylko na wizualizację obiektów generujących i odbierających komunikaty, ale również na określenie zależności czasowych między poszczególnymi komunikatami.

Na rys. 7 przedstawiony został przykładowy diagram sekwencji. Prezentuje on wymianę komunikatów między obiektami czterech klas: *CObserwatorPomiarów* (osoba przeprowadzająca badania), *CSystemPomiarowy* (system pomiarowy), *CMagistralaUrządzeń* (magistrala danych systemu pomiarowego) oraz *CUrządzeniePomiarowe* (wybrane urządzenie pomiarowe podłączone do magistrali danych).



Rys. 7. Diagram sekwencji wyznaczania odpowiedzi impulsowej

Gdy obiekt klasy *CObserwatorPomiarów* żąda od obiektu klasy *CSystemPomiarowy* odpowiedzi impulsowej wybranej wielkości mierzalnej badanego układu, system pomiarowy upewnia się, czy odpowiednie urządzenie pomiarowe jest podłączone do magistrali. Jeśli nie (odpowieź *urządzenieNOTOK*), to system pomiarowy przesyła obserwatorowi komunikat o błędzie i sekwencja zostaje zakończona.

Jeśli natomiast urządzenie pomiarowe jest podłączone (odpowieź *urządzenieOK*), to obiekt *CSystemPomiarowy* pobiera określoną liczbę wartości wielkości mierzalnej od obiektu klasy *CUrządzeniePomiarowe* za pośrednictwem obiektu klasy *CMagistralaUrządzeń*, a następnie prezentuje wykres odpowiedzi impulsowej.

4.7 Diagram czynności

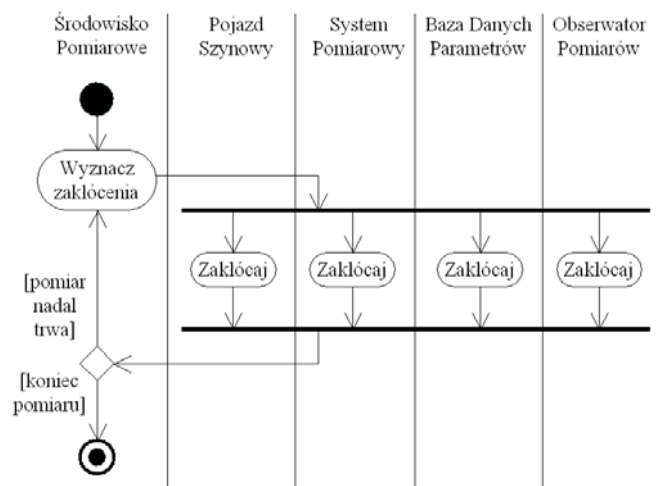
Diagramy czynności służą do prezentacji dynamicznych aspektów modelowanego systemu. Zawierają

one czynności wykonywanych przez jeden lub więcej obiektów modelowanego systemu oraz przepływ sterowania między tymi czynnościami.

Podobnie jak diagramy stanów, diagramy czynności posiadają stan początkowy i stan końcowy, przy czym stany te dotyczą nie obiektów, ale modelowanych operacji. Przejścia między czynnościami w diagramie są wyłącznie przejściami automatycznymi. Oznacza to, że przejście do następnej czynności w diagramie realizowane jest natychmiast po zakończeniu wcześniejszej czynności.

Oprócz przejść prostych, realizowanych bezwarunkowo od jednej czynności do drugiej, występują również przejścia warunkowe – realizowane jest jedno z dwóch (lub więcej) przejść przy spełnieniu określonego warunku, oraz przejścia współbieżne (rozwidlenia i scalenia) powodujące współbieżne wykonywanie kilku czynności.

Na rys. 8 przedstawiony został diagram czynności obrazujący modelowanie zakłóceń występujących w procesie pomiarowym.



Rys. 8. Diagram czynności związanych z zakłóceniami w modelu

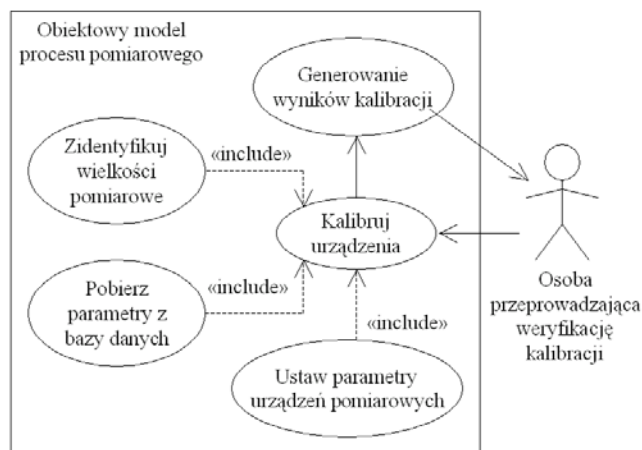
W momencie rozpoczęcia pomiaru badanego układu, komponent *Środowisko Pomiarowe* generuje zakłócenia, jakie są przekazane do pozostałych komponentów modelu procesu pomiarowego. Wygenerowane zakłócenia współbieżnie zmieniają parametry i zachowanie komponentów modelu: *Pojazdu Szynowego*, *Systemu Pomiarowego*, *Bazy Danych Parametrów* oraz *Obserwatora Pomiarów*. Zakłócenia są cyklicznie generowane przez komponent *Środowisko Pomiarowe* aż do momentu zakończenia pomiarów.

4.8 Diagram przypadków użycia

Diagramy przypadków użycia stosuje się do przedstawienia zachowania modelowanego systemu z perspektywy jego użytkowników lub/i zewnętrznych systemów.

Elementy diagramów przypadków użycia nie będące częścią modelowanego systemu nazywane są aktorami i przedstawiane są w postaci schematycznych ludzików. Modelowany system reprezentowany jest przez prostokąt, w którego wnętrzu znajdują się przypadki użycia (reprezentowane przez elipsy). Poszczególne przypadki użycia wywoływane są przez aktorów, oni również są adresatami rezultatów.

Na rys. 9 przedstawiony jest przykładowy diagram przypadku użycia. Prezentuje on weryfikację kalibracji urządzeń pomiarowych przez użytkownika systemu modelującego proces pomiarowy.



Rys. 9. Diagram przypadku użycia – weryfikacja kalibracji urządzeń pomiarowych

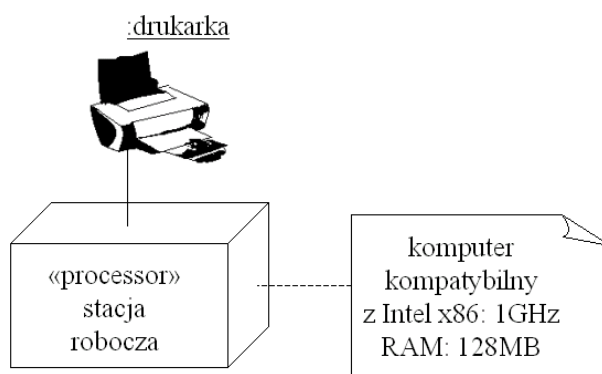
Kalibracja urządzeń wykonywana jest przez użycie *Kalibruj urządzenia* oraz użycia zależne: *Zidentyfikuj wielkości pomiarowe*, *Pobierz parametry z bazy danych* oraz *Ustaw parametry urządzeń pomiarowych*. Przypadek kończy się działaniem *Generowanie wyników kalibracji*, które przygotowuje raport z kalibracji urządzeń pomiarowych.

4.9 Diagram wdrożenia

Diagramy wdrożenia służą do przedstawienia fizycznej realizacji systemu. Węzły diagramów reprezentują konkretne urządzenia realizujące przydzielone im zadania, a powiązania między węzłami oznaczają fizyczne połączenia między urządzeniami.

Na rys. 10 przedstawiony został diagram wdrożenia dla obiektowego modelu procesu pomiarowego. Posiada on dwa węzły:

- *stację roboczą* – odpowiedzialną za fizyczną realizację symulacji procesu pomiarowego,
- *drukarkę* – standardowe urządzenie peryferyjne służące do drukowania wyników symulacji.



Rys. 10. Diagram wdrożenia dla modelu procesu pomiarowego

Na diagramie umieszczony został również komentarz, w postaci schematycznie przedstawionej kartki papieru z zagiętym prawym-górnym rogiem, opisujący podstawowe parametry stacji roboczej.

5 Podsumowanie

W artykule przedstawiono zastosowanie różnych formalizmów w modelowaniu procesów pomiarowych:

- model relacyjny,
- model funkcjonalny,
- model obiektowy.

Podkreślono korzyści wynikające z zastosowania modelu obiektowego w modelowaniu procesów pomiarowych:

- (1) możliwość uwzględnienia hybrydowego charakteru badanych układów,
- (2) interdyscyplinarne aspekty związane z czytelnością syntaktyką i semantyką języka zorientowanego problemowo,
- (3) możliwość bezpośredniego wykorzystania modelu w implementacji informatycznej.

Przedstawiono diagramy UML dla przykładowych elementów modelu procesu pomiarowego.

Rozwój aparatury pomiarowej oraz technik informatycznych umożliwia tworzenie systemów pomiarowych realizujących takie funkcje jak sterowanie pracą

przyrządów pomiarowych, akwizycje – archiwizację i przetwarzanie danych, zobrazowanie przebiegów pomiarów i stanów wszystkich elementów systemu, wizualizację danych oraz wyników ich przetwarzania i wielu innych. Zastosowanie systemu pomiarowego realizującego tak złożone funkcje do pomiarów złożonego, hybrydowego układu jakim są pojazdy szynowe wymaga przeprowadzenia wnikliwej analizy modelu procesu pomiarowego. W analizie tej wskazane jest zastosowanie podejścia obiektowego z zastosowaniem UML.

W kolejnym artykule przedstawiony zostanie przykład zastosowania obiektowego podejścia do modelowania procesu pomiarowego w odniesieniu do działania wybranego funkcjonalnego zespołu pojazdu szynowego.

Literatura

- [1] Alhir S. S., *UML. Wprowadzenie*, HELION, Gliwice, 2004
- [2] Mari L., *Epistemology of measurement*, *Measurement*, Vol. 34, 2003
- [3] Nawrocki W., *Komputerowe systemy pomiarowe*, Wydawnictwo Komunikacji i Łączności, Warszawa, 2002
- [4] Subramanian N., *Using object-oriented technology to design efficient IEEE-488.2 (GPIB) interface instruments*, *Computer Standards & Interfaces*, Vol. 22, 2000
- [5] Urbański M., Samsonowicz J., *On the field nature of measuring process*, *Measurement*, Vol. 34, 2003
- [6] Yang Q., *An Object-Oriented Model of Measurement Systems*, *IEEE Transaction on Instrumentation and Measurement*, Vol. 47, 1998