

Andrzej Kochan<sup>1</sup>

## PROJEKTOWANIE KOMPUTEROWYCH SYSTEMÓW KIEROWANIA RUCHEM KOLEJOWYM

### Streszczenie

*W pracach związanych z komputerowymi systemami kierowania i sterowania ruchem kolejowym znacznie więcej miejsca poświęca się sterowaniu niż kierowaniu. Efektem jest brak specjalizowanych metod projektowania komputerowych systemów kierowania ruchem kolejowym. Autor na bazie swoich doświadczeń formułuje założenia dla takiej metody, a następnie przedstawia autorską metodę projektowania komputerowych systemów kierowania ruchem kolejowym nazywaną metodą PKRK. Metoda składa się z trzech etapów: analizy, modelowania i weryfikacji modelu. Formalizmem wykorzystywanym przez Autora do modelowania jest podejście obiektowe natomiast językiem opisu jest Zunifikowany Język Modelowania UML.*

**Słowa kluczowe:** *kierowanie ruchem kolejowym, metodologie obiektowe, metoda projektowania komputerowych systemów kierowania ruchem kolejowym, PKRK, UML, ruch kolejowy*

### 1. Wstęp

Systemy kierowania ruchem kolejowym [1, 4] (systemy krk) są nieodłącznym elementem kolejowego procesu transportowego. Ich celem jest wspomaganie organizacji ruchu pociągów w taki sposób, aby ruch ten odbywał się według ustalonego rozkładu jazdy, a przy wystąpieniu zakłóceń były tworzone warunki dla minimalizacji niekorzystnych skutków tych zakłóceń. Systemy krk były stosowane na kolei prak-

---

<sup>1</sup> mgr inż. Andrzej Kochan; asystent; Politechnika Warszawska; Wydział Transportu; Zakład Sterowania Ruchem, tel. +48222347380, ako@it.pw.edu.pl

tycznie od początku jej istnienia. Na początku były to proste rozwiązania [10], np. wykorzystujące przekazywanie unikalnego berła do pojazdu trakcyjnego przy wjeździe pociągu na dany odcinek linii kolejowej czy prowadzenie pojazdu trakcyjnego w obecności pilota (przewodnika). Kolejnym etapem było telegraficzne, a potem telefoniczne zapowiadanie pociągów, przy pomocy którego dyżurni na sąsiednich posterunkach zapowiadawczych ustalali dostępność szlaków dla poszczególnych pociągów. Zastosowanie techniki komputerowej i oprogramowania [1, 2] w realizacji systemów krk pozwoliło na zwiększenie ich efektywności poprzez funkcję śledzenia ruchu pociągów w czasie rzeczywistym oraz automatyzację tworzenia dokumentacji w postaci elektronicznej. Na kolejach polskich stosowane są komputerowe systemy krk różnych typów, t.j. WSKR-2, ILTOR-2, EbiScreen 3.0, Command 900. Jednak stopień pokrycia sieci kolejowej nadzorem systemów tej klasy jest niewystarczający. W związku z Narodowym Planem Wdrożenia ERTMS w Polsce należy prognozować duże zapotrzebowania na zabudowę takich systemów w niedalekiej przyszłości. Sytuacja na kolejach Europy Zachodniej i Skandynawii jest odmienna. Większość sieci kolejowej jest nadzorowana przez systemy krk. Przykładem może być kolej niemiecka, gdzie cała sieć kolejowa, podzielona na siedem central, jest wyposażona w system LeiDis. Również koleje czeskie na swojej sieci stosują system krk, dostarczany przez firmę OLTIS. Obecnie szybki rozwój systemów tej klasy można obserwować w Chinach (np. CTCS-3) w związku z budową sieci kolei dużych prędkości. Innym przykładem są instalacje w Arabii Saudyjskiej, gdzie stosowany jest np. system CDT725 firmy Maharan International.

Znaczenie kierowania ruchem kolejowym wzrasta szczególnie dynamicznie w ostatnich latach. Wzrost ten wynika z kilku czynników. Pierwszym z nich jest potrzeba globalizacji transportu kolejowego [2]. Pod patronatem Unii Europejskiej powstaje system ERTMS (ang. European Railway Traffic Management System), który ma zapewnić interoperacyjność transportu kolejowego na terenie całej Europy. Znaczenie systemów krk podkreśla fakt, że w ramach prac nad Technicznymi Specyfikacjami Interoperacyjności (TSI) [5] powstały specyfikacje TSI-TAP i TSI-TAF, które standaryzują zasady wymiany informacji na poziomie kierowania i zarządzania ruchem.

Drugim ważnym czynnikiem jest ciągła potrzeba zwiększenia konkurencyjności transportu kolejowego w warunkach gospodarki ryn-

kowej. Jednym ze sposobów realizacji tego zadania jest optymalizacja wykorzystania środków transportu oraz infrastruktury, co jest równoznaczne z optymalizacją kosztów. Zadania optymalizacyjne wymagają bieżącej informacji o rzeczywistym ruchu pociągów. Źródłem takiej informacji są właśnie systemy kierowania ruchem kolejowym, dzięki czemu w połączeniu z funkcjami pozwalającymi na oddziaływanie na ruch pociągów stanowią podstawowe narzędzie realizacji celów optymalizacyjnych.

Trzecim czynnikiem stymulującym rozwój systemów kierowania ruchem są ich funkcje związane z zabezpieczeniem ruchu. Do takich funkcji należy procedura uzyskania pozwolenia na wyprawienie pociągu przy ruchu dwukierunkowym po jednym torze. W wybranych sytuacjach w przypadku sporadycznego kursowania pociągów taki sposób zabezpieczenia ruchu można uznać za wystarczający. Dlatego też zarządcy infrastruktury poszukując oszczędności rozważają możliwość rezygnacji z klasycznego podejścia do sterowania ruchem kolejowym na liniach mało obciążonych na wybranych obszarach sieci kolejowej, na rzecz zastąpienia ich wyłącznie funkcjami kierowania w połączeniu z radiołącznością [7].

Wzrostowi znaczenia systemów krk nie towarzyszy niestety rozwój specjalizowanych metod projektowania takich systemów. Z jednej strony systemy krk projektuje się jako podsystemy systemów sterowania ruchem kolejowym [1] (centrów sterowania), z drugiej strony traktuje się je jako standardowe systemy informatyczne zapominając o ich specyfice wynikającej z realizowanych funkcji. Pierwsze podejście nie jest do końca poprawne, ponieważ kierowanie ruchem kolejowym jest procesem obejmującym inne funkcje niż sterowanie, które jest działaniem typowo operacyjnym. Dlatego też projektowanie systemów kierowania wymaga ujęcia systemowego uwzględniającego architekturę systemu, operatorów, współpracę z otoczeniem i silny związek z technologią i przepisami ruchu kolejowego oraz rachunkiem ekonomicznym. Podobne zjawiska widocznie są w innych dziedzinach podobnych do kolei ze względu na dużą różnorodność wykorzystywanych rozwiązań technicznych np. w obronności [3]. Traktowanie systemu krk jak przeciętnego systemu informatycznego prowadzi do braku uwzględnienia specyficznych jego cech w metodzie projektowania, co prowadzi do nieefektywnych rozwiązań.

## 2. Niezbędne elementy projektu

Doświadczenia zdobyte przez Autora przy konstruowaniu komputerowych systemów krk pokazują, iż projekt takiego systemu uwzględniający tylko oprogramowanie realizujące funkcje krk jest niewystarczający. Niezbędne jest podejście systemowe, które pozwala na ujęcie wszystkich aspektów systemu w kontekście konkretnego środowiska (otoczenia), w którym będzie funkcjonował projektowany system. W tym celu projekt systemu krk powinien zawierać założenia organizacyjne. Do takich założeń należą:

- określone granice obszaru kontrolowanego przez krk (posterunki i szlaki wewnętrzne posterunki i szlaki styczne),
- spis stanowisk (w sensie funkcji personelu) związanych z kierowaniem ruchem i relacje pomiędzy nimi oraz powiązania tych stanowisk z posterunkami,
- model układu torowego istotnego z punktu widzenia kierowania ruchem kolejowym,
- zasady ruchu na torach szlakowych krk.

Wyznaczenie granic obszaru krk jest niezbędne w celu zdefiniowania struktury systemu krk jak również niezbędne w celu zdefiniowania otoczenia systemu oraz zasad jego współpracy z otoczeniem. Otoczenie systemu krk stanowią inne systemy krk funkcjonujące na stycznych posterunkach oraz inne systemy, które współpracują z krk np. SEPE, systemy zamawiania przewozów, systemy sterowania ruchem na posterunkach itp.

Spis stanowisk związanych z kierowaniem ruchem na obszarze krk jest niezbędny do określenia zakresu funkcjonalności poszczególnych elementów systemu. Relacje pomiędzy stanowiskami są wykorzystywane do wyznaczania kanałów komunikacyjnych wewnątrz systemu krk.

Układ torowy istotny z punktu widzenia systemu krk jest z reguły okrojona wersją rzeczywistego układu torowego. Tak określony układ torowy stanowi materiał dla konfiguracji funkcji zobrazowania sytuacji ruchowej na poszczególnych stanowiskach operatorskich systemu, a także jest wykorzystywany do określania zasad ruchowych na obszarze kontrolowanym przez system krk.

Zasady ruchu obowiązujące na szlakach pomiędzy posterunkami są wykorzystywane do definiowania zasad użytkowania tworzonego

systemu, określenia funkcjonalności i konfiguracji poszczególnych jego elementów.

Przytoczona argumentacja potwierdza konieczność włączenia wymienionych założeń organizacyjnych do projektu systemu krk.

Druga grupa założeń, które muszą znaleźć się w projekcie to opis infrastruktury informatycznej. Elementy tego opisu to:

- struktura sprzętu komputerowego poszczególnych stanowisk,
- struktura sieci teleinformatycznej,
- funkcjonalność i konfiguracja poszczególnych stanowisk,
- struktura logicznych kanałów komunikacyjnych,
- interfejsy do systemów należących do otoczenia systemu krk.

Dwa pierwsze punkty zawierają zagadnienia charakterystyczne dla każdego systemu informatycznego. Kolejne są już ściśle związane z funkcjonalnością systemu krk. Projekt musi określać jakie funkcje (np. dziennik ruchu, obsługa transmisji, zobrazowanie sytuacji ruchowej itp.) mają być uruchamiane na poszczególnych stanowiskach operatorskich oraz w jakiej konfiguracji (np. zakres zobrazowania). W projekcie musi się również znaleźć informacja o tym, którzy operatorzy muszą się komunikować ze sobą, co pozwoli na definicję logicznych kanałów komunikacyjnych. Projekt musi również określać zasady współpracy systemu z jego otoczeniem. Takie zasady będą przedstawiane w postaci projektu interfejsów opisującego, jakie dane będą wymieniane pomiędzy systemami oraz według jakiego harmonogramu. Szczególnym przypadkiem są interfejsy z urządzeniami srk. Zadaniem takiej współpracy jest automatyczne pozyskiwanie informacji o zdarzeniach ruchowych. Ze względu na różnorodność urządzeń srk budowa takich interfejsów za każdym razem może być inna.

Reasumując projekt systemu krk powinien zawierać:

- granice obszaru kontrolowanego przez system krk (posterunki i szlaki wewnętrzne posterunki i szlaki styczne),
- spis stanowisk związanych z kierowaniem ruchem i relacje pomiędzy nimi oraz powiązania tych stanowisk z posterunkami,
- układ torowy istotny z punktu widzenia procesu kierowania ruchem kolejowym,
- zasady ruchu na torach szlakowych krk,
- rozkład podsystemów krk na poszczególnych posterunkach,
- funkcjonalność poszczególnych podsystemów na posterunkach,

- zakres zobrazowania sytuacji ruchowej na poszczególnych posterunkach,
- struktura fizycznej sieci teleinformatycznej,
- logiczne kanały komunikacji,
- struktura logicznych kanałów komunikacyjnych,
- interfejsy do systemów należących do otoczenia systemu krk.

Dodatkowo można sformułować następujące ogólne cele stawiane przed metodami projektowania systemów kierowania ruchem kolejowym, którymi są:

- **spójne projektowanie** infrastruktury teleinformatycznej, funkcjonalności poszczególnych węzłów tej infrastruktury, struktur personelu obsługującego system oraz zasad pozwalających na realizację głównego zadania jakim jest kierowanie ruchem kolejowym na określonym obszarze sieci kolejowej,
- **efektywne projektowanie** poprzez umożliwienie automatyzacji wybranych etapów metody projektowania,
- **weryfikację poprawności** wynikowych projektów,
- **standaryzację opisu** architektury systemów krk,
- zwiększenie stopnia wykorzystania systemów krk dla **zrównoważonego rozwoju polskich i europejskich systemów transportowych** szczególnie w zakresie interoperacyjności i obsługi klienta.

Wszystkie wymienione elementy i założenia uwzględnia podejście opisane w kolejnych punktach.

### 3. Koncepcja podejścia do projektowania

Koncepcja podejścia do projektowania komputerowych systemów kierowania ruchem kolejowym proponowana przez Autora [6] opiera się na trzech filarach:

- ogólnym modelu systemu kierowania ruchem kolejowym,
- metodzie projektowania systemu kierowania ruchem kolejowym,
- opisie architektury zaprojektowanego systemu.

Głównym elementem rozwiązania jest **metoda projektowania** nazywana dalej **metodą PKRK**. **Ogólny model** systemu kierowania ruchem kolejowym jest elementem pomocniczym, który stanowi zbiór

standardowych elementów projektowych dla tej klasy systemów. **Opis architektury** systemu jest efektem zastosowania metody PKRK i stanowi wynikowy **projekt systemu krk**.

Głównym narzędziem proponowanego podejścia jest modelowanie. Autor wybrał metodologię obiektową [8] jako technikę tworzenia modeli oraz język UML [9] do opisu powstających modeli w tym końcowego projektu systemu krk.

### ***3.1. Etapy metody projektowania systemu kierowania ruchem kolejowym***

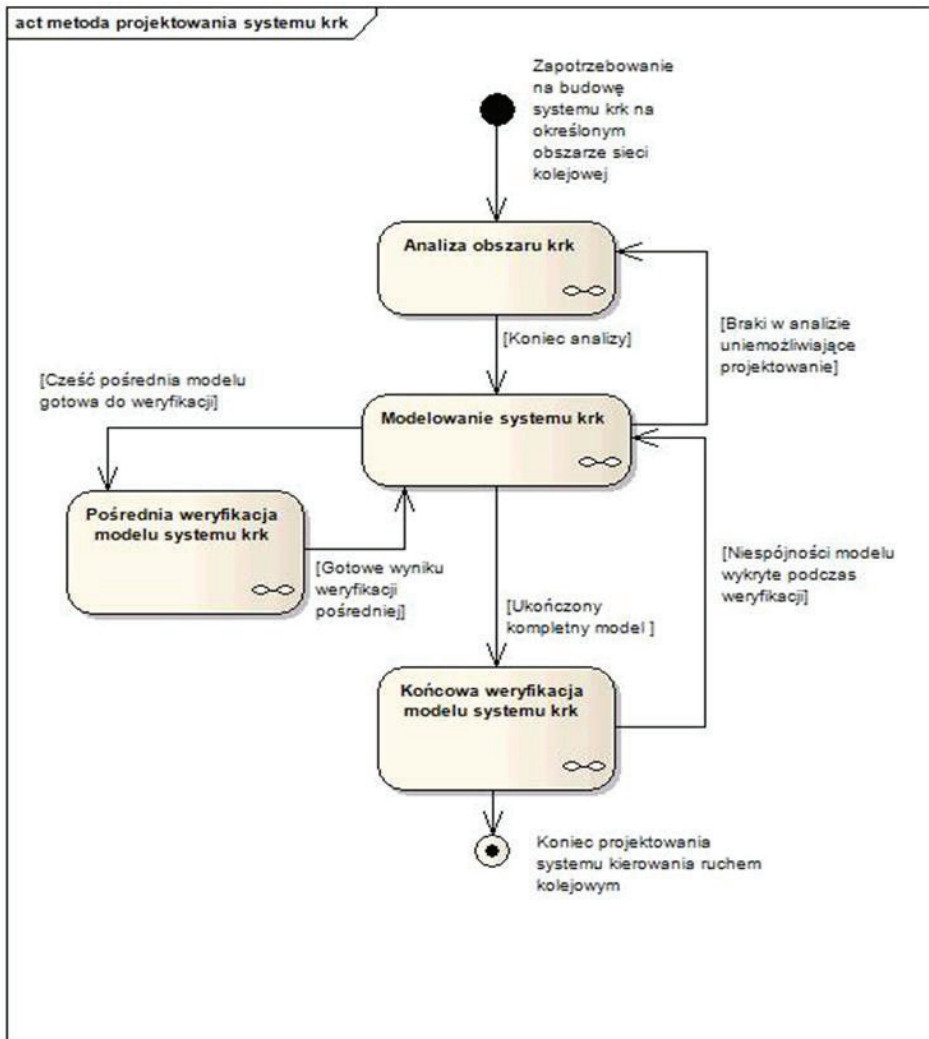
Metoda PKRK składa się z trzech etapów:

- analizy obszaru krk, na którym ma być zabudowany system,
- modelowanie architektury komputerowego systemu krk,
- weryfikacji otrzymanego modelu.

Na rys. 1. przedstawiono ogólny schemat metody, według którego przebiega projektowanie systemu krk. Jest to diagram aktywności języka UML. Jego węzły (aktywności, działania) modelują etapy metody projektowania. Każde przejście pomiędzy aktywnościami opisane jest warunkiem zezwalającym dla tego przejścia.

Zapoczątkowanie procesu projektowania narzuca zapotrzebowania na zabudowę systemu krk na określonym obszarze sieci kolejowej. Po zakończeniu formalności związanych z decyzją o budowie urządzeń kierowania ruchem kolejowym na określonym obszarze sieci kolejowej rozpoczyna się etap analizy obszaru krk. Po jego zakończeniu następuje przejście do etapu modelowania architektury komputerowego systemu krk. W czasie modelowania powstają pośrednie, częściowe modele systemu. Takie modele mogą być poddawane pośrednim weryfikacjom. Weryfikacje mają na celu wyszukanie potencjalnych błędów na jak najwcześniejszym etapie. Nie są one obowiązkowe i ich wyniki też mogą być trudne do interpretacji ze względu na niekompletność modelu. Jeżeli w trakcie modelowania wykryte zostaną braki w opisie obszaru krk następuje powrót do etapu analizy obszaru krk. Etap modelowania kończy się, gdy model przyjmuje ostateczną postać. Wtedy następuje przejście do etapu końcowej weryfikacji. Wykrycie niespójności modelu powoduje powrót do etapu modelowania. W przypadku wykazania spójności modelu przy pomocy procedur weryfikacyjnych projektowanie systemu krk zostaje zakończone.





**Rys. 1. Ogólny schemat metody projektowania systemów krk**

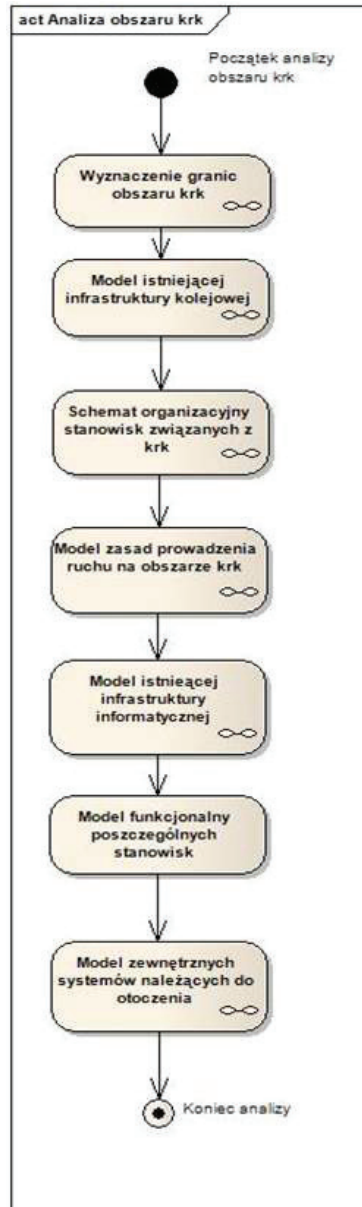
### **3.2. Etap analizy**

Celem tego etapu jest zebranie wszystkich niezbędnych z punktu widzenia krk danych potrzebnych do projektowania. Są to dane dotyczące:

- istniejącej infrastruktury kolejowej,
- organizacji pracy personelu odpowiedzialnego za prowadzenie ruchu,
- istniejącej struktury teleinformatycznej (ze szczególnym uwzględnieniem łączy transmisyjnych),



- przepisów określających zasady prowadzenia ruchu na danym obszarze,
- model funkcjonalności wymagany od projektowanych urządzeń komputerowych,
- model zewnętrznych systemów, z którymi powinien współpracować projektowany system.



**Rys. 2. Etap analizy obszaru krk**

Poszczególne kroki etapu analizy pozwalające na realizację tego celu przedstawione są na diagramie z rys. 2. Są to następujące po sobie kolejno:

- wyznaczenie granic obszaru krk,
- modelowanie istniejącej infrastruktury kolejowej,
- modelowanie schematu organizacyjnego stanowisk związanych z krk,
- modelowanie zasad prowadzenia ruchu na obszarze krk,
- modelowanie istniejącej infrastruktury informatycznej,
- modelowanie funkcjonalności stanowisk biorących udział w kierowaniu ruchem kolejowym,
- modelowanie zewnętrznych systemów należących do otoczenia.

### **3.3. Etap modelowania – tworzenie projektu**

Etap modelowania systemu krk zaczyna się po zakończeniu fazy analizy. Jej danymi wejściowymi są modele obiektowe powstałe w wyniku przeprowadzenia analizy. Projektowanie systemu ma doprowadzić do uzyskania projektu komputerowego systemu krk w postaci modelu obiektowego (opisu architektury systemu krk). Model projektowanego systemu zawiera składowe modele:

- układu torowego kontrolowanego przez system krk – tak określony układ torowy najczęściej różni się od istniejącego. Elementy nieużywane są pomijane. Pojawiają się natomiast elementy sztuczne (wirtualne) wprowadzone w celu umożliwienia zobrazowania złożonych operacji ruchowych,
- personelu obsługującego poszczególne elementy systemu,
- struktury systemu krk,
- przetwarzanych danych w systemie – dane są głównym produktem tego systemu,
- zasad kierowania ruchem kolejowym na obszarze krk uwzględniających właściwości i możliwości projektowanego systemu,
- współpracy z otoczeniem czyli systemami zewnętrznymi.

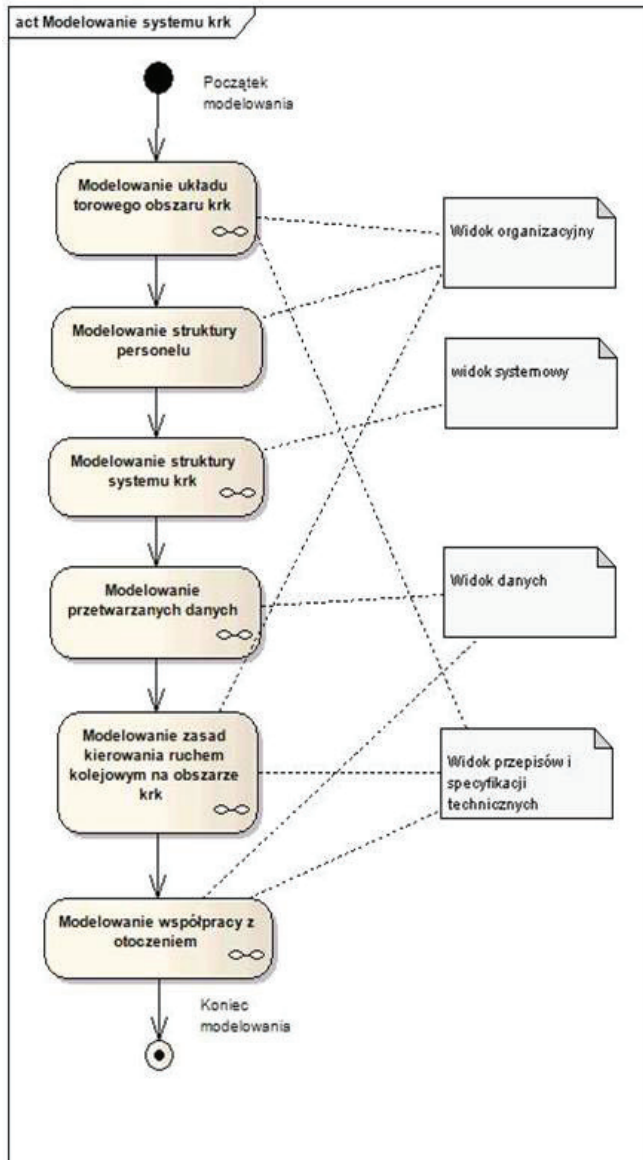
Kolejne kroki etapu modelowania są przedstawione na rys. 3. Są to:

- modelowanie układu torowego obszaru krk,
- modelowanie struktury personelu,
- modelowanie struktury systemu krk,
- modelowanie przetwarzanych danych,
- modelowanie zasad kierowania ruchem na obszarze krk,

- modelowanie współpracy z otoczeniem.

Modele są przedstawiane w postaci diagramów języka UML. Diagramy są pogrupowane w widoki tworząc:

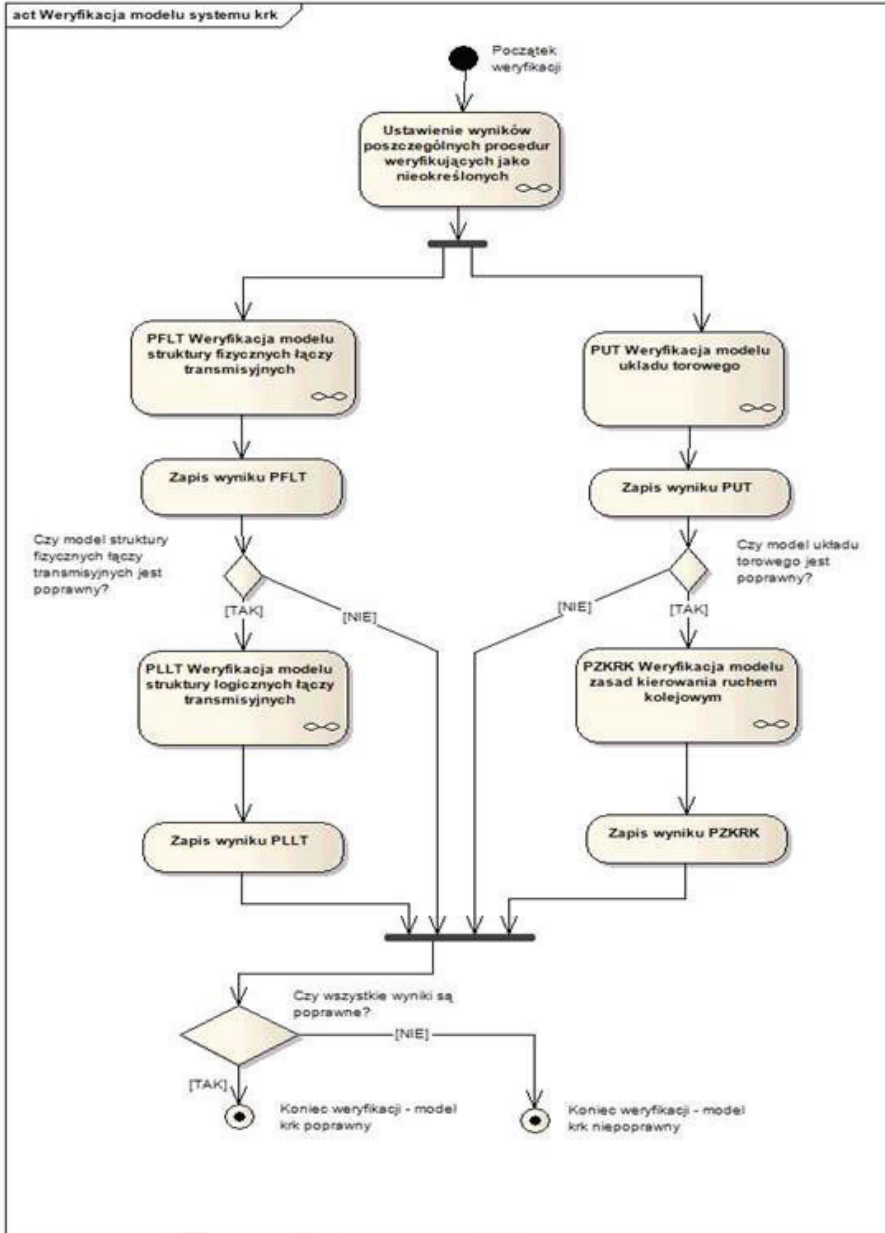
- widok organizacyjny,
- widok systemowy,
- widok danych,
- widok przepisów i specyfikacji technicznych.



**Rys. 3. Etap modelowania (projektowania)**

### 3.4. Etap weryfikacji

Model otrzymany w wyniku projektowania jest poddawany weryfikacji. Pozytywna weryfikacja modelu dowodzi jego **poprawności**. Diagram aktywności prezentujący schemat procedury weryfikacji przedstawiony jest na rys. 4



Rys. 4. Etap weryfikacji modelu systemu krk

Schemat weryfikacji jest taki sam zarówno dla wersji pośredniej jak i końcowej, przy czym wyniki tej pierwszej odnoszą się tylko do części modelu poddawanej weryfikacji. Zdefiniowano następujące procedury weryfikacji:

- weryfikacja modelu układu torowego,
- weryfikacja modelu fizycznych łączy transmisyjnych,
- weryfikacja modelu logicznych łączy transmisyjnych,
- weryfikacja modelu zasad kierowania ruchem kolejowym.

Należy podkreślić że zbiór testów nie jest zamknięty i nowe procedury weryfikujące mogą być tworzone w miarę potrzeb

Można zaobserwować (rys. 4), że niektóre procedury weryfikacyjne mogą być przeprowadzane niezależnie, co jest modelowane przez rozejście przepływu sterowania. Procedury, które są od siebie zależne tworzą sekwencje w przepływie sterowania. Po wykonaniu każdej z procedur zapisywany jest wynik jej wykonania. W przypadku błędu, pomijane są kolejne procedury w danej sekwencji. Na końcu weryfikacji sprawdzane są wyniki poszczególnych procedur testowych. Jeżeli wszystkie są pozytywne to weryfikacja jest pozytywna i model uznany jest za poprawny. Jeżeli przynajmniej jedna jest negatywna to weryfikacja jest negatywna, a jej wynik zawiera informacje na temat wyników wykonania poszczególnych procedur.

## **Podsumowanie**

W artykule przedstawiono oryginalne podejście Autora [6] do projektowania komputerowych systemów kierowania ruchem kolejowym. Głównym jej elementem jest metoda PKRK. Oczywiście szczegółowe omówienie rozwiązania wykracza poza ramy tego artykułu. Niemniej jednak omówione zostały główne etapy metody oraz wymienione składowe kroki poszczególnych etapów. Warto podkreślić, że w metodzie zastosowano nowoczesne podejście do modelowania w postaci technologii obiektowej i języka UML. Pozwala to na automatyzację procesu projektowania przy wykorzystaniu różnorodnych narzędzi wspierających ten rodzaj modelowania, które są dostępne na rynku.

Dalszy rozwój opisanego podejścia przewiduje opracowanie podobnej metody lub rozszerzenie opisanej dla urządzeń sterowania ruchem kolejowym. Zagadnienia związane ze sterowaniem będą wymagały

jednak innego ujęcia, ukierunkowanego bardziej w stronę zachowań, bezpieczeństwa i niezawodności systemu.

## Bibliografia

- [1] Dąbrowa-Bajon M.: *Podstawy sterowania ruchem kolejowym. Funkcje, wymagania, zarys techniki*. Oficyna Wydawnicza Politechniki Warszawskiej 2002.
- [2] Białoń A., Gradowski P., Toruń A.: *Nowoczesny system zarządzania ruchem kolejowym (ERTMS)*. Centrum Naukowe - Techniczne Kolejnictwa Warszawa 2009.
- [3] Department of Defense USA, DoD Architecture Framework Version 1.5, 2007.
- [4] Grochowski K., Konopiński L.: *Kierowanie i sterowanie ruchem kolejowym w inteligentnym systemie transportowym*. Prace Naukowe Politechniki Warszawskiej – Seria Transport z. 61, Warszawa 2007, s. 55.
- [5] Karolak J., Kochan A.: *Zadania badawcze na stanowisku KSR Sosna w świetle TSI*. Materiały konferencyjne XXVIII Semirarium Kola Naukowego „Mechanik“ Wojskowej Akademii Technicznej, Warszawa 2009.
- [6] Kochan A.: *Metoda projektowania komputerowych systemów kierowania ruchem kolejowym*. Rozprawa doktorska Wydział Transportu Politechniki Warszawskiej 2011.
- [7] Radkowski R.: *Strategia automatyzacji linii kolejowych w Polsce.* Seminarium w Zakładzie Sterowania Ruchem Wydziału Transportu Politechniki Warszawskiej, Warszawa Czerwiec 2010.
- [8] Subieta K.: *Obiektowość w projektowaniu i bazach danych*. Akademicka Oficyna Wydawnicza PLJ, Warszawa 1998.
- [9] OMG Unified Modeling Language (OMG UML), Superstructure, V2.1.2 2007.
- [10] Wasiutyński A.: *Drogi żelazne*. Wydawnictwa Naukowe Komisji Wydawniczej T-wa Bratniej Pomocy Studentów Politechniki Warszawskiej, Warszawa 1925.

## DESIGNING OF THE COMPUTER SYSTEMS FOR RAILWAY TRAFFIC OPERATION MANAGEMENT

### Summary

*While the works on computer operation management systems and computer control systems much more attention is bestowed on the controlling than on the management. As the result of such approach there is lack of any designing methods of systems of railway traffic operation management. The author, basing on his own experiences, presents the author's designing method of systems of railway traffic operation management called the PKRK method. The method consists of three stages: analysis, modelling, verification of model. The formalism used by the author while modelling is an object oriented methodology whereas the language is the Unified Modelling Language UML.*

**Keywords:** *railway traffic operation management, object oriented methodology, designing method of systems of railway traffic operation management, PKRK, UML, railway traffic*