

dr hab. inż. Waldemar Nowakowski, prof. UTH Rad.  
Uniwersytet Technologiczno-Humanistyczny  
im. Kazimierza Pułaskiego w Radomiu  
Wydział Transportu, Elektrotechniki i Informatyki

**Recenzja**  
**rozprawy doktorskiej mgra inż. Mateusza Jurczaka**

**pt.: „Opracowanie metody automatycznego tworzenia tablic zależności stacyjnych systemów sterowania ruchem kolejowym”**

Promotor w przewodzie doktorskim: dr hab. inż. Jakub Młyńczak, prof. PŚ  
Promotor pomocniczy: dr hab. inż. Andrzej Toruń, prof. IK

**1. Podstawa formalna i prawna recenzji**

Podstawą formalną recenzji jest pismo znak: RDILT.512.11.2022 z dnia 06.07.2022 r. Przewodniczącego Rady Dyscypliny Inżynieria Lądowa i Transport Politechniki Śląskiej dra hab. inż. Marcina Staniek, prof. PŚ oraz umowy o dzieło nr UMC/2155/2022. Recenzję sporządzona na podstawie dostarczonej rozprawy doktorskiej.

Recenzja została przygotowana zgodnie z obowiązującymi w tym zakresie regulacjami prawnymi, w tym ustawy z dnia 14 marca 2003 r. o stopniach naukowych i tytule naukowym oraz o stopniach i tytule w zakresie sztuki (tekst jednolity: Dz. U. z 2017 r. poz. 1789).

**2. Ogólna charakterystyka rozprawy**

Rozprawa doktorska Pana mgra inż. Mateusza Jurczaka to zwarte opracowanie liczące 183 strony, łącznie ze streszczeniem w języku polskim i angielskim (4 strony), spisem treści (2 strony), słownikiem pojęć (3 strony), wykazem najważniejszych skrótów (1 strona), wykazem najważniejszych symboli (3 strony), spisem rysunków (2 strony), spisem tabel (1 strona), bibliografią (6 stron), załącznikami (84 strony). Bibliografia przywołanego materiału źródłowego liczy 108 pozycji (w tym 40 pozycje obcojęzyczne w języku angielskim i czeskim), przy czym 60 pozycji zostało opublikowane po roku 2010, co podkreśla ich aktualność. W bibliografii Doktorant wskazał na 6 wybranych publikacji stanowiących wkład w przygotowanie rozprawy, których jest autorem lub współautorem.

**3. Wartość naukowa rozprawy**

Rozprawa doktorska dotyczy problemu automatyzacji projektowania tablic zależności stacyjnych systemów sterowania ruchem kolejowym (srk). Doktorant na podstawie analizy stanu zagadnienia i krytycznego przeglądu literatury stwierdza, że „kierunek automatyzacji generowania tablic zależności stacyjnych urządzeń sterowania ruchem kolejowym na podstawie planu schematycznego był (...) rozpatrywany”. Niemniej jednak „brakuje rozwinięcia tego tematu choćby o doprecyzowanie warunków, zasad i procesów w przedstawionych metodach”. Na tej podstawie Doktorant formułuje tezę rozprawy twierdząc, iż „możliwe jest opracowanie uniwersalnej metody MGLTAB polegającej na

generowaniu w sposób automatyczny tablic zależności stacyjnych urządzeń sterowania ruchem kolejowym na podstawie danych wejściowych przygotowanych podczas projektowania uproszczonego planu schematycznego". Ze sformułowanej tezy rozprawy wynika jej cel główny, którym jest „opracowanie metody tworzenia tablic zależności stacyjnych urządzeń sterowania ruchem kolejowym MGLTAB”. Doktorant zakłada osiągnięcie tego celu w wyniku realizacji następujących celów szczegółowych:

- zdefiniowanie nowej metody automatyzacji tworzenia tablic zależności,
- zbudowanie modelu stacji na podstawie założeń przyjętych dla tej metody,
- opracowanie algorytmów dla procesów występujących w zaproponowanej metodzie,
- wdrożenie przygotowanych algorytmów w wybranym oprogramowaniu,
- zweryfikowanie poprawności metody,
- przeprowadzenie analizy otrzymanych wyników,
- przedstawienie propozycji dalszego rozwoju i ewentualnych zmian dla badanej metody.

Treść rozprawy została podzielona na sześć rozdziałów, w tym wstęp oraz wnioski.

Rozdział 1 stanowi wprowadzenie do tematyki pracy oraz zawiera szczegółową analizę stanu zagadnienia, z uwzględnieniem literatury krajowej i zagranicznej. Na tej podstawie Doktorant formułuje tezę rozprawy, cel główny i cele szczegółowe. Ostatecznie ma to doprowadzić do opracowania nowej metody generowania tablic zależności MGLTAB na podstawie uproszczonego planu schematycznego, z uwzględnieniem przebiegów pociągowych i manewrowych.

Rozdział 2 jest poświęcony problematyce projektowania systemów srk w zakresie tworzenia planów schematycznych i tablic zależności. Autor dostrzegając pewne mankamenty w zakresie zapisu zależności stosowanego na kolejach polskich przedstawia opis alternatywnego rozwiązania mającego zastosowanie na kolejach czeskich. Rozdział ten zawiera również szczegółową analizę problematyki wpływu zmian dokonywanych na planie schematycznym, na przykład w wyniku fazowania prac budowlanych, na pracochłonność i czasochłonność czynności projektowych dotyczących tworzenia tablic zależności. Należy jednocześnie dostrzec, związaną z tym obszarem, problematykę zapewnienia bezpieczeństwa ruchu kolejowego, co potwierdza wagę problemu, którego dotyczy recenzowana praca. W miejsce doczasowych uciążliwych i pracochłonnych prac projektowych Doktorant proponuje automatyzację tworzenia tablic zależności, bazując na uproszczonych planach schematycznych. Jednocześnie założono wykorzystywanie do tego celu narzędzi projektowania wspomaganego komputerowo CAD (*Computer Aided Design*). Ideę generowania dokumentacji projektowej stacyjnych systemów srk w zakresie tablic zależności, na podstawie baz danych uzyskiwanych z planów schematycznych, należy uznać za właściwą.

Rozdział 3 stanowi opis modelu matematycznego, opracowanego na potrzeby generowania tablic zależności przy wykorzystaniu metody MGLTAB. Doktorant zdefiniował niezbędne zbiory elementów i układów srk, nazwanych w pracy obiektami. Następnie zdefiniował funkcje odwzorowania cech i typów oraz przedstawił opis formalny relacji między obiektami. Na podstawie ww. modelu Doktorant dokonał selekcji poszczególnych algorytmów oraz przedstawił schemat implementacji metody MGLTAB. Co istotne, proces tworzenia oprogramowania uwzględniła zalecenia normatywne, gdyż bazuje na modelu typu V. Autor rozprawy zdefiniował wymagania dla oprogramowania służącego do

automatyzacji tworzenia tablic zależności, a także dokonał ich selekcji na trzy grupy wymagań: funkcjonalne, architektoniczne i pozafunkcjonalne.

Rozdział 4 jest poświęcony implementacji metody MGLTAB w środowisku Autodesk AutoCAD oraz zawiera opis autorskich aplikacji napisanych w języku C# - Visual Studio. W celu umożliwienia projektowania uproszczonych planów schematycznych Doktorant opracował specjalizowane bloki tworzące pasek narzędzi w AutoCAD, będące odwzorowaniem typowych elementów i układów srk, nazywanych obiektami. Jest to o tyle istotne, że standardowe oprogramowanie CAD nie jest dedykowane projektantom branży srk, a tym samym nie zawiera takich narzędzi. Każdy z typów obiektów umieszczany jest na planie schematycznym z uwzględnieniem warstw, co ułatwia weryfikację poprawności tego planu, na przykład w wyniku użycia filtrowania. Dodatkowo wstawienie obiektu wiąże się z koniecznością nadania mu odpowiednich atrybutów, które ostatecznie posłużą do generowania tablic zależności. Ze względu na środowisko projektowe Autodesk AutoCAD, Doktorant zdecydował się na zapis plików, dla tak zaprojektowanych uproszczonych planów schematycznych, w formacie DXF (*Drawing Exchange Format*). Ponieważ pliki DXF, służące wymianie danych wektorowych, przechowują informacje nadmiarowe Doktorant zaproponował ich eksport do baz mających strukturę dwuwymiarowych tablic tekstowych. W rozdziale tym zawarto również szczegółowy opis wszystkich algorytmów wykorzystywanych do automatycznego tworzenia tablic zależności, przy czym dane wejściowe mają, jak już wcześniej wspomniano, ściśle zdefiniowaną strukturę.

Rozdział 5 stanowi opis weryfikacji metody MGLTAB, przeprowadzonej w celu sprawdzenia poprawności generowania tablic zależności dla stacyjnych systemów srk. Doktorant dla wybranych stacji i posterunków odgałęźnych utworzył, z wykorzystaniem autorskiego oprogramowania stanowiącego implementację metody MGLTAB, tablice zależności, które następnie zostały porównane z dokumentacją projektową ww. obiektów. Dla uwzględnionej w badaniach próby losowej uzyskano bardzo dużą zgodność danych wynikowych. Jednocześnie zdecydowano się na weryfikację otrzymanych rezultatów za pomocą testu statystycznego. Po przeprowadzeniu analizy możliwych testów nieparametrycznych wybór padł na test zgodności chi-kwadrat. Dla przyjętych założeń uzyskano potwierdzenie wiarygodności metody MGLTAB i poprawności działania autorskiego oprogramowania. Można więc uznać, że metoda MGLTAB pozwala na poprawne generowanie tablic zależności dla stacyjnych systemów srk na podstawie uproszczonych planów schematycznych, zmniejszając nakłady czasowe ponoszone w procesie projektowania.

Rozdział 6 zawiera wnioski i podsumowanie. Autorska koncepcja metody MGLTAB automatyzacji projektowania tablic zależności stacyjnych systemów sterowania ruchem kolejowym oraz przeprowadzenie weryfikacji poprawności tej metody potwierdzają, że osiągnięto założony cel rozprawy oraz udowodniono przyjętą w rozprawie tezę.

Stwierdzam, że przyjęty w rozprawie cel główny oraz cele szczegółowe sformułowane są prawidłowo. Tematyka rozprawy zawiera się w dyscyplinie naukowej „Inżynieria Lądowa i Transport”, stanowi oryginalne rozwiązanie problemu naukowego oraz ma duże znaczenie użytkowe.

Rozprawa doktorska ma poprawny układ, a także przejrzystą i logiczną strukturę. Rozprawa prezentuje ogólną wiedzę teoretyczną Doktoranta w ww. dyscyplinie naukowej.

#### 4. Wartość merytoryczna rozprawy

Doktorant podjął się bardzo ważnego, a zarazem trudnego tematu badawczego, jakim jest automatyzacja projektowania tablic zależności stacyjnych systemów srk. Niewątpliwie jest to istotny element procesu projektowego systemów srk, ściśle powiązany z zapewnieniem bezpieczeństwa ruchu kolejowego. Uwzględniając potrzebę tworzenia tablic zależności, wynikającą na przykład z czasowego zamknięcia fragmentów układu torowego, fazowania robót, czy też zmiany zasad organizacji ruchu, zaproponowana metoda MGLTAB może znacząco ograniczyć pracochłonność procesu projektowania, szczególnie w przypadku dużych obiektów kolejowych. Na uwagę zasługuje fakt opracowania autorskiego paska narzędzi będącego nakładką do programu Autodesk AutoCAD pozwalającego na projektowanie uproszczonych planów schematycznych, a także implementacja algorytmów do generowania tablic zależności na podstawie ww. planów w języku C# środowiska Visual Studio.

Moim zdaniem metoda MGLTAB jest zgodna z aktualną tendencją tworzenia cyfrowych modeli obiektów przy wykorzystaniu technologii BIM (*Building Information Modeling*). Model ten pozwala na łatwe generowanie różnych wariantów projektu, w tym na przykład w zakresie tablic zależności. Zbudowanie cyfrowego modelu obiektu umożliwia również automatyzację procesu kontroli poprawności projektu, przyczyniając się do redukcji liczby błędów projektowych, co zostało również przedstawione w ocenianej rozprawie. Tak więc, projektowanie wspomagane komputerowo CAD w powiązaniu z technologią BIM może umożliwić efektywne wykorzystanie cyfrowych modeli systemów srk.

Uważam, że rozdziały rozprawy: trzeci i piąty są najbardziej wartościowymi obszarami pracy pod względem naukowym. Natomiast rozdział czwarty, dotyczący implementacji metody MGLTAB w środowiskach: Autodesk AutoCAD oraz Visual Studio, w tym algorytmy i przyjęte struktury danych, ma charakter głównie użytkowy. W rozdziale trzecim Doktorant zaproponował autorską metodę automatycznego tworzenia tablic zależności stacyjnych systemów srk bazującą na modelu matematycznym. Doktorant uwzględnił w tym modelu większość typowych elementów i układów srk, określanych mianem obiektów. Dla tak stworzonej struktury zdefiniował funkcje odwzorowania cech i typów oraz przedstawił opis formalny relacji między obiektami. Uważam, że zaproponowany model może również znaleźć zastosowanie w ocenie bezpieczeństwa systemów srk. Jak już wspomniano, w rozdziale tym Doktorant opisał także autorską metodę MGLTAB automatycznego tworzenia tablic zależności stacyjnych systemów srk dla uproszczonych planów schematycznych. Natomiast rozdział piąty został w całości poświęcony problematyce weryfikacji metody MGLTAB, przeprowadzonej za pomocą testu statystycznego. Autor rozprawy dla przyjętych warunków zdecydował się zastosować test nieparametryczny. Po przeprowadzeniu analizy testów nieparametrycznych dokonano wyboru testu zgodności chi-kwadrat. Weryfikacja metody pozwoliła stwierdzić, że z prawdopodobieństwem 99% uzyskane wyniki wygenerowanych przebiegów za pomocą metody MGLTAB pokrywają się z przebiegami w tablicach rzeczywistych.

Metoda zaproponowana w rozprawie nie jest jedyną próbą rozwiązania problemu automatycznego tworzenia tablic zależności, niemniej jednak należy podkreślić jej uniwersalność i brak powiązania z konkretnym systemem zależnościowym.



Do głównych osiągnięć Doktoranta, dokonanych w rozprawie, można zaliczyć:

- opracowanie modelu tworzenia tablic zależności na potrzeby metody MGLTAB,
- opracowanie autorskiej metody MGLTAB automatycznego generowania tablic zależności stacyjnych systemów srk,
- stworzenie algorytmów dla wszystkich procesów i podprocesów występujących w metodzie MGLTAB,
- implementacja metody MGLTAB w środowiskach: Autodesk AutoCAD oraz Visual Studio,
- przeprowadzenie weryfikacji metody MGLTAB przy użyciu wybranego testu zgodności.

Uważam, że rozprawa doktorska jest opracowana poprawnie pod względem merytorycznym, a zastosowane metody i narzędzia badawcze są właściwie dobrane do sformułowanej tezy i przyjętych celów pracy.

## 5. Poprawność redakcyjna rozprawy

Recenzowana rozprawa doktorska napisana jest z użyciem poprawnego języka, tekst jest zrozumiały, jednoznaczny i logiczny. Pewnym mankamentem jest słaba czytelność niektórych rysunków prezentujących algorytmy. Dostrzeżono również pewne błędy edytorskie:

- a. str. 24 „przedstawienie układu nieco z innej strony opisuje go niż tablice zależności”,
- b. str. 26 „co powoduje zmniejszenie spowodowania błędów”,
- c. str. 40 „dochodzą również wykluczenia dodatkowe wykluczenia”,
- d. str. 53 błąd we wzorze nr 60,
- e. str. 64 „projektowanie, implementacja, testowania i wdrożenie oprogramowania”,
- f. str. 65 „przygotowani model”,
- g. str. 68 „spełniony zostaje warunek łatwości użytkowania w metodzie”,
- h. str. 73 „dlatego wygląd zapisanego pliku”,
- i. str. 78 „znajdujących się bezpośrednio obok ochraniane drogi jazdy”,
- j. str. 81 „sprawdzenie czy nie me zwrotnicy”,
- k. str. 82 „przyjęto, że istnieją przebiegi przez 0 przejść (na wprost)”,
- l. str. 100 „próby zaproponowania i przekonania Zarządcę”.

Wymienione błędy edytorskie nie umniejszają wartości naukowej i merytorycznej recenzowanej rozprawy doktorskiej.

## 6. Uwagi krytyczne i pytania

Pewnym utrudnieniem dla czytającego rozprawę doktorską jest występujący w niektórych miejscach pracy brak wyjaśnień dla przyjętych we wzorach oznaczeń. Co prawda Doktorant zamieścił w rozprawie wykaz najważniejszych symboli, ale nie zawiera on kompletu oznaczeń występujących w rozprawie.

Problemy, do których proszę o ustosunkowanie się Doktoranta, są następujące:

1. Współczesne koncepcje projektowania bazują na tworzeniu cyfrowych modeli. Jaki związek ma zaproponowana przez Doktoranta metoda MGLTAB z koncepcją „cyfrowego bliźniaka” i technologią BIM?

2. Automatyczne generowanie tablic zależności w zaproponowanej metodzie MGLTAB wymaga zbudowania uproszczonego planu schematycznego, który tworzony jest przy wykorzystaniu obiektów będących blokami w środowisku Autodesk AutoCAD. Czy Doktorant podjął próby implementacji tych bloków w innych środowiskach projektowania CAD?
3. Generowanie tablic zależności można uznać za pewien proces decyzyjny bazujący na wiedzy eksperckiej. Czy Doktorant brał pod uwagę zastosowanie w badanym obszarze systemu ekspertowego?
4. Aktualnie podejmowane są próby modelowania danych dotyczących infrastruktury kolejowej przy użyciu standardów, tj.: RailML, RailTopoModel. Czy Doktorant ocenił przydatność tych standardów do definiowania struktur danych dla zaproponowanej metody MGLTAB?

## 7. Ocena końcowa

W podsumowaniu stwierdzam, że przedstawiona do recenzji praca stanowi oryginalne rozwiązanie problemu naukowego oraz spełnia kryteria merytoryczne, metodologiczne i formalne stawiane rozprawom doktorskim. Praca wskazuje na umiejętność prowadzenia przez Doktoranta badań naukowych, interpretacji uzyskanych wyników oraz weryfikowania przyjętych hipotez. Jednocześnie recenzowana praca dowodzi, że Doktorant posiada bardzo dobrą wiedzę z zakresu systemów sterowania ruchem kolejowym oraz znajomość podjętej problematyki. Ostatecznie pozwoliło to na osiągnięcie celu rozprawy i udowodnienie postawionej tezy. Zaprezentowane w rozprawie wyniki badań, oprócz wartości poznawczych, mają duże znaczenie użytkowe i mogą być wykorzystane w automatyzacji procesu projektowania systemów sterowania ruchem kolejowym w zakresie generowania tablic zależności.

**Stwierdzam, że rozprawa doktorska mgra inż. Mateusza Jurczaka pt.: „Opracowanie metody automatycznego tworzenia tablic zależności stacyjnych systemów sterowania ruchem kolejowym”, złożona w przewodzie doktorskim w dyscyplinie naukowej „Inżynieria Lądowa i Transport”, spełnia wymogi stawiane rozprawom doktorskim, zgodnie z ar. 13 ustawy z dnia 14 marca 2003 r. o stopniach naukowych i tytule naukowym oraz o stopniach i tytule w zakresie sztuki (tekst jednolity: Dz. U. z 2017 r. poz. 1789). Dlatego też wnoszę do Rady Dyscypliny Inżynieria Lądowa i Transport Politechniki Śląskiej wniosek o dopuszczenie Pana mgra inż. Mateusza Jurczaka do dalszych etapów przewodu doktorskiego.**

Waldemar Nowakowski