

# Zastosowanie pakietu Bentley InRoads w projektowaniu, wizualizacji i geodezyjnej obsłudze budowy węzła drogowego



- mgr inż. Tomasz Majkusiak
- mgr inż. Michał Marek

Systematycznie zwiększające się natężenie ruchu drogowego powoduje, że wszystkie duże miasta borykają się z problemami komunikacyjnymi. Rozwiązania skrzyżowań przystosowane do dużego ruchu pojazdów oraz brak obwodnic powodują powstawanie zatorów drogowych. Wiele rozwiązań wymaga przeprojektowania i przebudowy. Wykonywanie tego rodzaju prac szczególnie w terenach silnie zurbanizowanych wymaga zastosowania najnowocześniejszego oprogramowania.

## Wstęp

Coraz trudniej jest poruszać się po centrach największych światowych i europejskich miast; niestety zjawisko to jest powszechne również w Polsce. Największe metropolie, takie jak Warszawa czy Wrocław, stają się coraz bardziej zakorkowane. Nie inaczej jest w przypadku Krakowa. W artykule został przedstawiony projekt koncepcji zmiany układu komunikacyjnego jednego z najbardziej obciążonych krakowskich skrzyżowań. Jest to węzeł komunikacyjny Nowy Kleparz, znajdujący się u zbiegu ulic: Alei Trzech Wieszców, Prądnickiej oraz Długiej. Bardzo duża liczba pojazdów i mała przepustowość poszczególnych skrzyżowań w drastyczny sposób wpływają na szybko powstające w tym miejscu zatory drogowe.

Projekt został wykonany z zastosowaniem oprogramowania firmy Bentley Systems. Firma ta posiada rozbudowaną ofertę programów do wspomaganie utrzymania stanu infrastruktury drogowej. Do projektu wykorzystano aplikację Bentley InRoads, należącą do pakietu programów o wspólnej nazwie Bentley InRoads Group XM. Program ten służy do przygotowania i projektowania inwestycji drogowych, posiada też wiele narzędzi znajdujących zastosowanie na etapie realizacji projektu w terenie. Należy również podkreślić, że wszystkie programy z pakietu Bentley InRoads są zintegrowane z najpopularniejszym produktem firmy – MicroStation, w jakim prezentowane są wszystkie wyniki w postaci graficznej.

Omawiany projekt został wykonany w ramach pracy dyplomowej na kierunku geodezja i kartografia w AGH w Krakowie. Ze względu na ogrom prac nad przedsięwzięciem zdecydowano się na wyłączenie z niego takich elementów, jak uzbrojenie terenu, odwodnienie i kanalizacja, synchronizacja sygnalizacji świetlnej, przebieg torowiska tramwajowego oraz zagadnienia prawne związane z ewidencją gruntów i budynków. Należy jednak nadmienić, że zastosowane oprogramowanie jest funkcjonalne również we wspomnianych aspektach.

## Numeryczny model terenu

Numeryczny model terenu (NMT) jest odzwierciedleniem powierzchni określonego obszaru. Utworzenie NMT jest pierwszym krokiem w procesie projektowania większości obiektów budowlanych.

W programie InRoads model terenu został zbudowany z siatki trójkątów, których wierzchołki to punkty pozyskane metodami geodezyjnymi. Dane wyjściowe potrzebne do utworzenia NMT można uzyskać przez wykonanie pomiarów terenowych lub wektoryzacji podkładów rastrowych.

Zrealizowany projekt wymagał utworzenia szczegółowego NMT z uwagi na położenie inwestycji. Gęsta zabudowa oraz



Ryc. 1. Wizualizacja obiektów *feature* dla całości opracowania

liczba obiektów towarzyszących to główne czynniki świadczące o konieczności wiernego odzwierciedlenia terenu opracowania. Model terenu został wykonany metodą wektoryzacji podkładu rastrowego. Dane do opracowania pozyskano z Ośrodka Dokumentacji Geodezyjnej i Kartograficznej w Krakowie, a stanowiły je arkusze map zasadniczych w skali 1:500. Były na tyle aktualne, że nie było konieczności wykonywania pomiarów uzupełniających. Po skalibrowaniu map została przeprowadzona wektoryzacja. W jej efekcie powstał zbiór punktów rozproszonych typu *random*, odzwierciedlających ukształtowanie istniejącego terenu, a także zbiór linii nieciągłości typu *breakline*, reprezentujących krawędzie jezdni oraz krawężniki. Zbiory punktów typu *interior* definiują obrysy budynków znajdujących się na terenie opracowania, natomiast ciąg punktów typu *exterior* prezentuje obrys zewnętrzny obszaru, na którym utworzono NMT. Wszystkie ciągi wprowadzanych punktów traktowane są jako *feature* – obiekty, które można edytować, zmieniając ich współrzędne, typ itp. (ryc. 1).

Na rycinie 2 widoczny jest końcowy efekt zbudowanego NMT. Został on przedstawiony w 10-krotnie skażonej skali pionowej dla uzyskania lepszego efektu wizualnego.

## Definicja geometrii w planie i przekroju podłużnym

Głównym założeniem sporządzonego projektu było wprowadzenie w ciągu alei Słowackiego tunelu (na rycinie 3 oznaczonego kolorem niebieskim). Zadaniem tego obiektu jest odizolowanie głównego potoku ruchu. Zaprojektowano także część naziemną skrzyżowania. Optymalnym rozwiązaniem byłoby wybudowanie na tym terenie ronda, które zapewniłoby odpowiednią przepustowość i bezpieczeństwo. Niemniej jednak ograniczenia spowodowane gęstą zabudową oraz chęć zajęcia jak najmniejszej powierzchni terenu wymusiły konieczność odstąpienia od projektu typowego ronda na rzecz skrzyżowania o ruchu okrężnym z eliptyczną wyspą centralną.

Każdy projekt wymaga rozważenia co najmniej kilku wariantów i wyboru najkorzystniejszego z nich. Program InRoads zawiera narzędzia, które w sprawny sposób pozwalają na analizę wielu koncepcji przebiegu osi drogi w planie i przekroju podłużnym. Przy tworzeniu geometrii ulic zostały wykorzystane dwie z trzech dostępnych metod projektowania: metoda wierzchołkowa oraz import z grafiki wykonanej w programie MicroStation. Dla każdej z ulic zaprojektowano niweletę. Wszystkie prace projektowe były prowadzone w nawiązaniu do stanu istniejącego.

**Definiowanie przekrojów normalnych**

Kolejnym etapem tworzenia kompletnego modelu drogi w programie InRoads jest przygotowanie przekrojów normalnych, które zostaną przypisane do poszczególnych osi projektowanych dróg. Tworzenie przekrojów normalnych w programie InRoads odbywa się przez składanie ich z podstawowych elementów zwanych komponentami, powiązanych ze sobą związkami logicznymi umożliwiającymi ich wzajemną współpracę. Odpowiednio połączone i powiązane ze sobą komponenty tworzą przekrój drogi, jak np. widoczny przekrój normalny tunelu (ryc. 4).

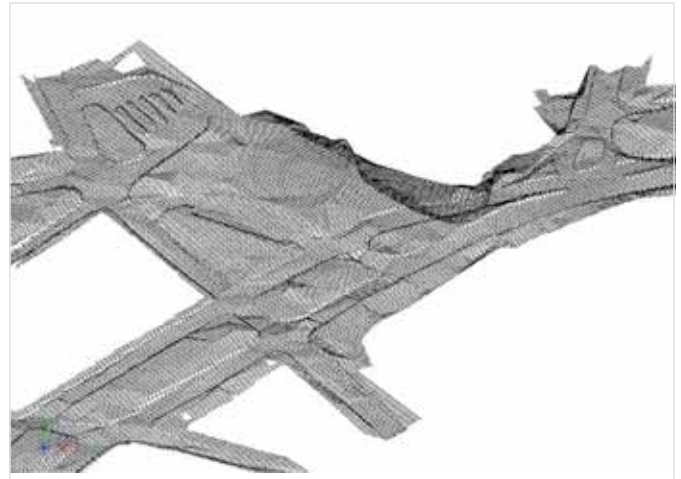
W przypadku projektowania zwykłego odcinka drogi, o stałej liczbie pasów ruchu, zadanie wydaje się być dość proste do wykonania. Można przy tym skorzystać z różnorodnej i bogatej biblioteki przekrojów, które są integralną częścią InRoads. W prostych opracowaniach dostępne przekroje mogą być kopiowane w całości lub stanowić bazę, na której zostaną wykonane potrzebne zmiany. W przypadku złożonych opracowań, czego przykładem z pewnością może być sporządzony na potrzeby tej pracy projekt Nowego Kleparza, tworzenie przekrojów normalnych jest prawdopodobnie najbardziej czasochłonnym i skomplikowanym etapem. Problemy w budowie wspomnianych przekrojów są związane z zawartością związków logicznych między poszczególnymi komponentami.

Należy jednak dodać, że ich poprawne wykonanie pozwala na wiele ułatwień w dalszych etapach projektowania. Do istotnych zalet należy zaliczyć zautomatyzowanie takich czynności, jak projektowanie skrzyżowań, generowanie przechylek na łukach oraz uwzględnianie zmienności pasów ruchu, a także dowiezanie projektu do stanu istniejącego.

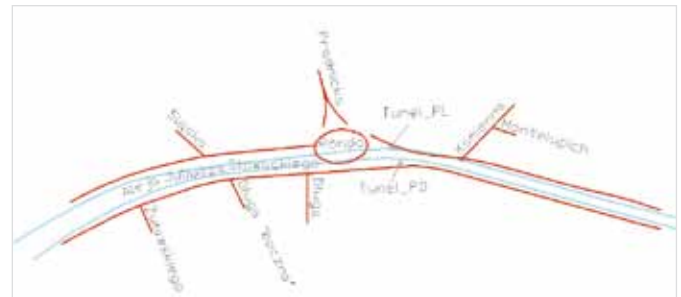
**Tworzenie korytarzy dróg**

Po zdefiniowaniu przebiegu trasy w planie oraz jej ukształtowania wysokościowego w postaci niwelety oraz po utworzeniu potrzebnych przekrojów normalnych możemy rozpocząć tworzenie przestrzennego modelu drogi. Odbywa się to przez przypisanie odpowiednich przekrojów normalnych do zaprojektowanych osi dróg. Należy uwzględnić takie elementy, jak zmienność pasów ruchu, występowanie zatok autobusowych oraz skrzyżowań. Trzeba również wprowadzić przechylek oraz poszerzenia na łukach. Warto zaznaczyć, że program zawiera narzędzie umożliwiające przeprowadzenie tego procesu w sposób automatyczny, na uprzednio zdefiniowanych plikach z wytycznymi.

Gotowe korytarze dróg stanowią bazę dla utworzenia NMT terenu projektowanego. Tak utworzoną powierzchnię można wyświetlać na wiele różnych sposobów z zastosowaniem narzędzi MicroStation, czego przykłady zostały zaprezentowane na rycinie 5. Przestrzenny model opracowania umożliwia bardzo łatwy dostęp do pozyskania współrzędnych przestrzennych i informacji o geometrii dla dowolnego elementu projektu.



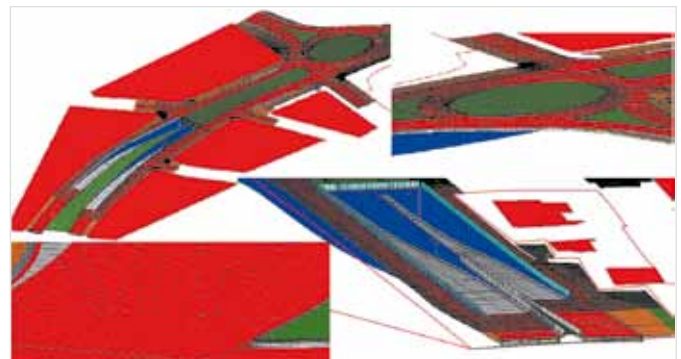
Ryc. 2. Numeryczny model terenu w trybie wyświetlania Grided Model



Ryc. 3. Osie obliczeniowe ulic głównych



Ryc. 4. Przekroje normalne tunelu



Ryc. 5. Przykładowe możliwości wyświetlenia projektowanego terenu z zastosowaniem narzędzi MicroStation

**Ułatwienia dla geodetów**

Podstawowym zadaniem geodety na placu budowy jest wyniesienie projektowanych elementów w teren. Tyczenie odbywa się przy użyciu elektronicznego sprzętu pomiarowego na podstawie wcześniej przygotowanych danych. Również tutaj oprogramowanie

mowanie InRoads okazuje się niezwykle użyteczne. Ponieważ każdy element utworzonych korpusów dróg posiada swoją interpretację numeryczną, istnieje możliwość łatwego dostępu do danych sytuacyjno-wysokościowych. Odbyna się to przez generowanie raportów. Można je tworzyć dla osi dróg lub innych obiektów liniowych projektowanego NMT, reprezentujących m.in. krawędzie jezdni, warstwy nawierzchni czy też krawędzie pasów. Program InRoads umożliwia pozyskanie w ten sposób plików z danymi w postaci współrzędnych punktów, wielkości do tyczenia metodą biegunową oraz plików wsadowych do popularnych instrumentów geodezyjnych.

Program InRoads oferuje również narzędzia umożliwiające obliczenia bilansu robót ziemnych. Dysponując dokładnym modelem istniejącego terenu oraz kompletnymi korytarzami dróg, uzyskujemy dużą dokładność obliczeń. Otrzymane wyniki można zaprezentować w postaci raportu bilansu robót uwzględniającego również zużycie materiałów na poszczególnych odcinkach. Roboty ziemne mogą być też prezentowane w postaci wykresu transportu mas ziemnych. Istnieje także opcja pozwalająca na prezentację wyników na przekrojach poprzecznych.

## Rysunki projektowe i wizualizacja

Po przeprowadzeniu wszystkich prac projektowych programy Bentley InRoads i MicroStation posłużyły do skompletowania elementów dokumentacji projektowej węzła komunikacyjnego. Etap ten obejmował wykonanie szeregu rysunków projektowych. Wykonano plan warstwicowy terenu istniejącego oraz rozwiązanie warstwicowe projektowanych jezdni, plan sytuacyjny, a także przykłady niwelety i przekrojów poprzecznych. Przeprowadzone zostały także obliczenia bilansu robót ziemnych, przedstawione w postaci serii rysunków i raportu z obliczeń. Pakiet InRoads oferuje wysoce zautomatyzowane narzędzia do ich tworzenia, które raz skonfigurowane dają możliwość szybkiej generacji dowolnych danych.

Na podstawie wykonanego przestrzennego modelu skrzyżowania przy pomocy funkcji dostępnych w programie MicroStation została utworzona wizualizacja projektu (ryc. 6). Wizualizacja nie była głównym celem opracowania, dlatego została uproszczona. W opracowaniu zostały wykorzystane jedynie podstawowe narzędzia, a obiekty do wizualizacji otoczenia, jak budynki czy infrastruktura, pobrano z bazy gotowych modeli 3D Warehouse. Krótki film z wizualizacji można zobaczyć w serwisie Youtube (<http://www.youtube.com/watch?v=CZPVQFvGxEQ>).

## Podsumowanie

Przedstawiony w artykule projekt przebudowy węzła komunikacyjnego Nowy Kleparz stanowił temat pracy magisterskiej, którą wspólnie przygotowaliśmy w Katedrze Geodezji Inżynierskiej i Budownictwa pod opieką dr. inż. Michała Stracha. Wykonanie tak rozbudowanego projektu w ramach dyplomu było związane z chęcią poszerzenia swojej wiedzy i nauczenia się przy okazji czegoś praktycznego. Po wykonaniu całości opracowania i konsultacji z naszym promotorem postanowiliśmy spróbować naszych sił i wysłaliśmy nasz projekt na międzynarodowy konkurs *Bentley Student Design Competition 2012*, organizowany corocznie od 16 lat przez firmę Bentley Systems. Nasz projekt okazał się zwycięski w kategorii *Innovation in Bridge / Road Design* (Innowacyjne projektowanie mostów i dróg, ryc. 7). Praca zajęła też pierwsze miejsce w tegorocznej edycji konkursu na najlepsze prace dyplomowe uczelni Krakowa w dziedzinie transportu i budownictwa komunikacyjnego, organizowanego przez krakowski oddział Stowarzyszenia Inżynierów i Techników Komunikacji Rzeczpospolitej Polskiej.



Ryc. 6. Wybrane widoki wizualizacji projektu wykonanej w programie Bentley MicroStation

Tomasz Majkusiak i Michał Marek są absolwentami geodezji i kartografii na Wydziale Geodezji Górniczej i Inżynierii Środowiska AGH w Krakowie. Ukończyli także budownictwo na Politechnice Krakowskiej (e-mail: majkusiak@gmail.com; michalmarek86@gmail.com).



Ryc. 7. Wręczenie nagród w konkursie Bentley Systems Student Design Competition 2012 (od lewej: Zeljko Djuretic – Bentley Systems, Michał Marek, Tomasz Majkusiak)