

Krzysztof BOJAROWSKI¹

MODELOWANIE OBIEKTÓW W PROCESIE MODERNIZACJI TRAS DROGOWYCH I KOLEJOWYCH

Streszczenie

Nowoczesne metody projektowania i geodezyjnego opracowania projektów tras komunikacyjnych wymagają generowania modeli stanu istniejącego oraz obiektów projektowanych w układach trójwymiarowych. O dokładności i wierności odwzorowania rzeczywistego układu decyduje w głównej mierze sposób pozyskiwania danych oraz algorytmy generowania numerycznego modelu terenu. W artykule przedstawiono podstawowe problemy związane z opracowaniem modernizacji ulic i tras kolejowych w układach trójwymiarowych z wykorzystaniem systemu CIVIL 3D.

Słowa kluczowe: projektowanie dróg, mapa numeryczna, numeryczny model terenu

1. Wstęp

Od szeregu lat prowadzone są dyskusje nad przydatnością licznych, oferowanych na rynku komputerowym systemów oprogramowania w procesie tworzenia i wykorzystania map numerycznych. Zwraca się szczególną uwagę na sprawność tych systemów w pozyskiwaniu i przetwarzaniu informacji, wymagania sprzętowe i względy ekonomiczne oraz możliwości dostosowania systemów do warunków lokalnych i przepisów technicznych. Należy jednak podkreślić, że konkurencja w dziedzinie wysokiej klasy systemów przetwarzania informacji zmusza ich twórców do doskonalenia oferowanych produktów, co prowadzi do porównywalnych efektów, przy podobnych warunkach technicznych i ekonomicznych. Można zatem powiedzieć, że o przydatności wybranych systemów do konkretnych zastosowań decyduje w znacznym stopniu pełne rozeznanie ich możliwości oraz utworzenie specjalnie zaprojektowanych programów aplikacyjnych. W szczególności dotyczy to dostosowania systemów do warunków lokalnych i obowiązujących przepisów technicznych [1], [2], [4].

Nowoczesne metody projektowania i geodezyjnego opracowania projektów tras komunikacyjnych wymagają generowania modeli stanu istniejącego oraz obiektów projektowanych w układach trójwymiarowych. O dokładności i wierności odwzorowania rzeczywistego układu decyduje w głównej mierze sposób pozyskiwania danych oraz algorytmy generowania numerycznego modelu terenu. W artykule przedstawiono podstawowe problemy związane z opracowaniem modernizacji dróg i tras kolejowych w układach trójwymiarowych z wykorzystaniem systemu Autodesk CIVIL 3D.

Przy wyborze podstawowego systemu oprogramowania istotne znaczenie mają możliwości jego stosowania przez różne grupy specjalistów, co zapewnia możliwość wykorzystania zgromadzonych informacji przestrzennych przez różne grupy zawodowe [3], [5]. Systemem takim jest niewątpliwie AutoCAD Civil 3D, który utworzony został z myślą o projektantach, urbanistach i architektach, ale może znaleźć również zastosowanie w przetwarzaniu i geodezyjnym wykorzystaniu informacji przestrzennych. W tym celu wskazane jest jednak przygotowanie systemu uwzględniające przyjęte w geodezji technologie oraz przepisy i instrukcje techniczne.

AutoCAD jest jednym z systemów, które są intensywnie rozwijane w kierunku ich przystosowania do rozwiązywania zadań interdyscyplinarnych. W ostatnich latach system AutoCAD, rozbudowany został do systemu Autodesk Civil 3D, który znalazł już efektywne zastosowanie w

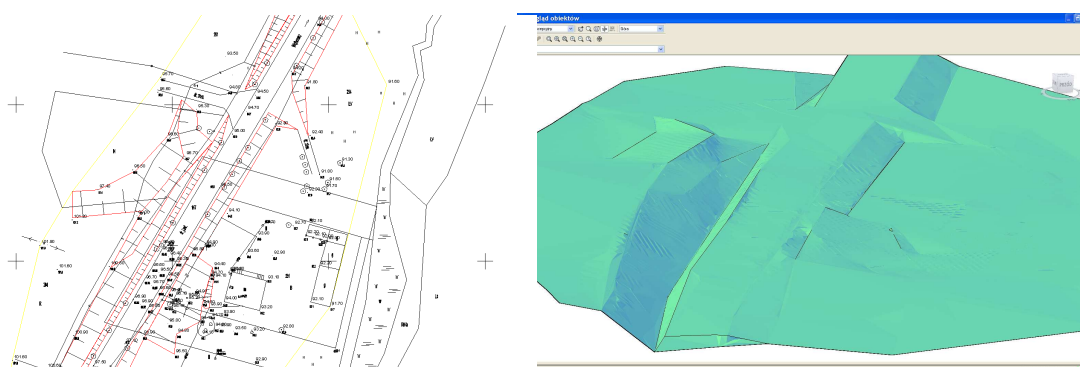
¹dr inż., Wydział Geodezji i Gospodarki Przestrzennej, Uniwersytet Warmińsko-Mazurski w Olsztynie

projektowaniu infrastruktury liniowych i geodezji. Dzięki zaawansowanym możliwościom w zakresie komputerowej obsługi projektowania, w powiązaniu z funkcjami modelowania przestrzennego obiektów, AutoCAD Civil 3D jest platformą szczególnie dobrze przystosowaną do projektowania inwestycji, wspartego obsługą geodezyjną w trakcie przygotowania i realizacji projektu, a także wznoszenia i eksploatacji inwestycji. W celu zilustrowania tych możliwości w dalszej części artykułu zaprezentowano przykłady, w których na bazie pomiarów geodezyjnych zrealizowano projekt modernizacji drogi kołowej i linii kolejowej.

2. Opracowanie projektu trasy drogowej

Technologia projektowania dróg w systemie Civil 3D wymaga generowania w określonej kolejności obiektów, funkcjonalnie ze sobą powiązanych tworzących spójny zbiór elementów projektu. Wprowadzenie jakichkolwiek zmian w dowolnym elemencie powoduje w tym przypadku uaktualnienie wszystkich pozostałych, a więc funkcjonalne i geometryczne związki zostają zachowane. Oczywiście przed przystąpieniem do realizacji projektu należy przygotować system Civil 3D, w szczególności dotyczy to zdefiniowania układu współrzędnych opracowania, ustalenia jednostek kątowych i liniowych, zaimportowania zbiorów punktów będących podstawą geometryczną projektu. W ramach przygotowania systemu można również ustalić ilość i układ warstw, zdefiniować skróty opisu obiektów stosowane w projekcie oraz zdefiniować tzw. style odpowiadające za sposób wizualizacji obiektów. Niektóre z tych ustawień mogą być realizowane w trakcie tworzenia obiektów.

W pierwszym prezentowanym przykładzie utworzona mapa numeryczna, na podstawie nowego pomiaru geodezyjnego, posłużyła do opracowania projektu odcinka drogi lokalnej klasy IV, z uwzględnieniem stosowanych warunków technicznych. Ocenę układu terenu, niezbędną do opracowania projektu wstępnego, ułatwiło utworzenie modelu trójwymiarowego powierzchni na podstawie informacji zawartych w mapie numerycznej i zbioru punktów reprezentujących rzeźbę terenu. Zadanie wykonane zostało przy użyciu odpowiednich funkcji zawartych w systemie Civil 3D. Wygenerowany numeryczny model terenu poddano dalszemu przetwarzaniu w szczególności wygładzeniu i dodaniu linii nieciągłości (rys.1). Należy również podkreślić, że w przypadku projektowania trójwymiarowego, oprócz numerycznej mapy zasadniczej należy w bazie danych przestrzennych zarejestrować zbiór punktów X,Y,Z, reprezentujących rzeźbę terenu. Istnieje wprawdzie możliwość przekształcenia mapy typu 2+1D do 3D, jednak tego typu opracowania obciążone są dodatkowymi błędami.

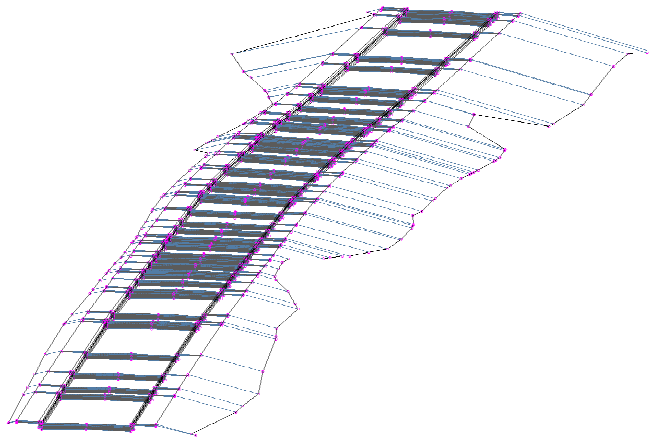


Rys. 1. Mapa źródłowa i numeryczny model terenu

Oś trasy drogowej ustalona została na podstawie zbioru punktów położonych w osi istniejącej drogi, a przecięcie linii łączących te punkty wyznaczały punkty wierzchołkowe. Załamania osi trasy wyokrąglone zostały łukami kołowymi z symetrycznymi krzywymi przejściowymi. Wizualizacja linii trasowania określona została w stylu obiektu (rys. 2). Kolejnym etapem realizacji projektu było opracowanie profilu podłużnego z wcześniej utworzonej powierzchni reprezentującej rzeźbę terenu wzdłuż linii trasowania. Sposób prezentacji profilu oraz układ tabeli podstawowej ustalany jest w stylach obiektu (rys. 2). W lokalnym układzie współrzędnych zdefiniowanym przez osie profilu można tworzyć profile według tzw. układu. Jednym z takich profili może być niweleta określająca

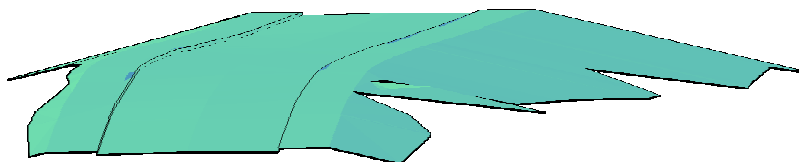
niezbędnego do wybudowania każdej z warstw. Oczywiście istnieje możliwość tworzenia własnych części składowych przekrojów normalnych i dodanie ich do biblioteki systemu.

Utworzenie numerycznego modelu terenu, zaprojektowania linii trasowania, niwelety i przekrojów normalnych pozwala na wygenerowanie tzw. korytarza. Jest to obiekt utworzony z przekrojów normalnych usytuowanych w określonym interwale wzdłuż linii trasowania na wysokości niwelety. Przestrzenny widok korytarza przedstawiony został na rys. 4.



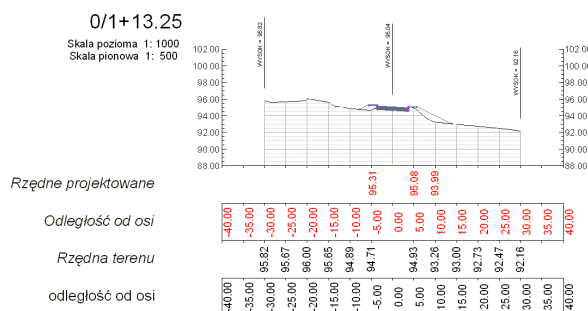
Rys. 4. Korytarz pasa drogowego

Korytarz może być wykorzystany do tworzenia i wizualizacji powierzchni projektowych pasa drogowego. Powierzchnie tworzone są w oparciu o kody ustalone dla punktów, linii i kształtów w przekroju normalnym, a zatem dla poszczególnych elementów np.: rowów, skarp można zdefiniować powierzchnie, przypisać im odpowiednie style odpowiadające za sposób wizualizacji. W stylach powierzchni można również określić odpowiedni materiał pokrycia. Wizualizacja drogi w układzie trójwymiarowym ze zdefiniowaną powierzchnią górną zaprezentowana została na rys. 5. Tak zdefiniowana powierzchnia niezbędna jest do obliczenia robót ziemnych.



Rys. 5. Przykładowa powierzchnia korytarza

Przestrzenny model korytarza można również wykorzystać do opracowania przekrojów poprzecznych i obliczeń robót ziemnych. Przekroje poprzeczne tworzone są w miejscach określonych przez tzw. linie próbkowania. Ze zbioru opracowań związanych z tworzeniem przekrojów poprzecznych wybrany został przykład zamieszczony na rys. 6.

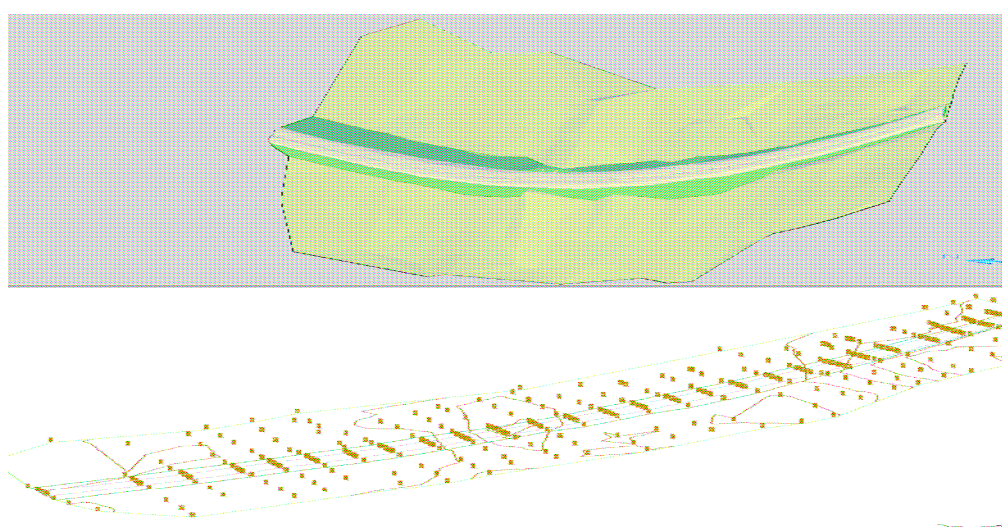


Rys. 6. Przykładowy przekrój poprzeczny

Wygenerowane obiekty projektu trasy drogowej są podstawą zarówno studiów przedprojektowych o charakterze techniczno-ekonomicznym, a po wyborze ostatecznego wariantu, umożliwiają opracowanie dokumentacji technicznej wyniesienia projektu w teren.

3. Opracowanie projektu drogi kolejowej

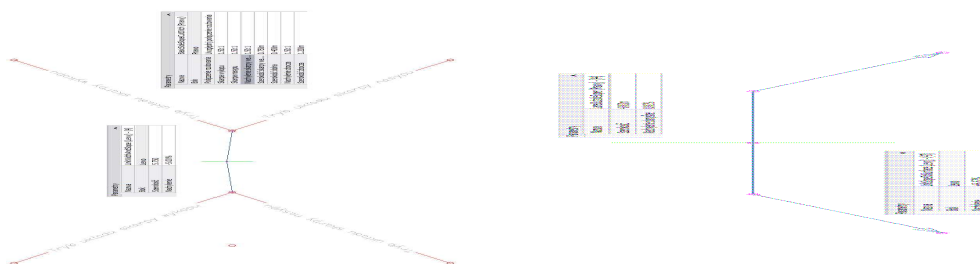
Projektowanie drogi kolejowej w systemie Civil 3D przebiega podobnie jak przedstawiony w poprzednim rozdziale projekt drogi kołowej. Oczywiście występują odmienne niż w poprzednim przypadku elementy przekroju normalnego i uwzględniane są przepisy techniczne dotyczące tego typu budowli, natomiast elementy projektu i związki je łączące są takie same. Do opracowania projektu wykorzystano pomiary geodezyjne wykonane w celu opracowania projektu modernizacji linii kolejowej E65 Warszawa – Gdynia dla obszaru Lokalnego Centrum Sterowania w Iławie wykonane przez Okręgowe Przedsiębiorstwo Geodezyjno – Kartograficzne w Olsztynie. Wizualizacja wyników pomiaru oraz utworzonych na ich podstawie powierzchni terenu, nasypu i podsypki przedstawione zostały na rys. 7.



Rys. 7. Wyniki pomiarów i utworzone modele powierzchni

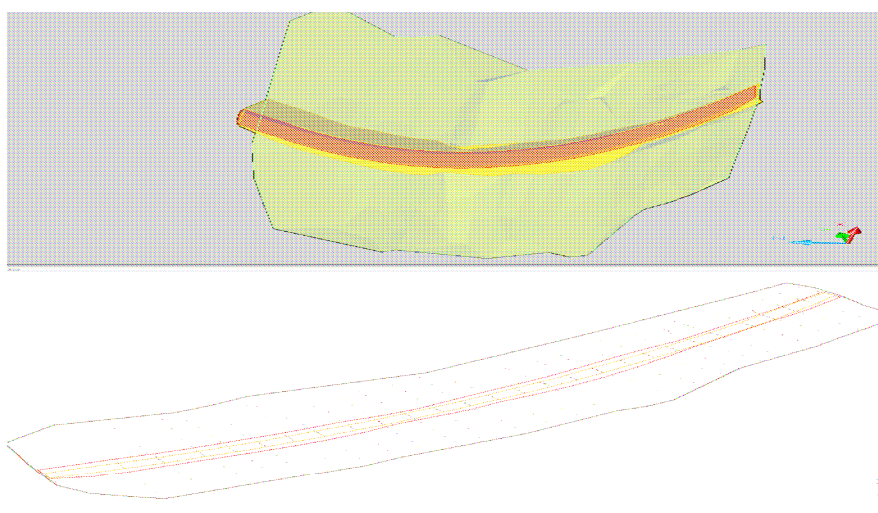
Wygenerowane powierzchnie istniejącego układu przestrzennego stały się podstawą opracowania projektu. W układzie poziomym oś modernizowanej linii kolejowej została zaprojektowana z wykorzystaniem narzędzi układu linii trasowania. W istniejący układ nasypu wpasowano styczne, w które w dalszej kolejności zostały wyokrąglone łukami kołowymi. We właściwościach linii trasowania określono dopuszczalną prędkość $v=160$ km/h. Na podstawie geometrii krzywej i wprowadzonej prędkości system sam ustalił wartość przechyłki. Linia trasowania została opisana kilometrażem, a w punktach charakterystycznych geometrii poziomej wstawiono odpowiednie znaczniki. Na podstawie linii trasowania sporządzono profile podłużne nasypu i podsypki. W układ profili zaprojektowane zostały niwelety dla nowego układu nasyp – podsypka. Niweletę nasypu wrysowano z zachowaniem stałości punktu początkowego i końcowego opracowania. Tak utworzone niwelety składają się z odcinka o stałym pochyleniu oraz nie zawierają załomów – nie było zatem konieczności projektowania zaokrąglającego łuku pionowego. Pomiędzy zaprojektowanymi niweletami zachowano różnicę rzędnych wynikającą z grubości warstwy podsypki oraz podkładów wynoszącą 0,56 m.

Po zaprojektowaniu osi układu torów w układzie poziomym i pionowym przystąpiono do tworzenia przekrojów normalnych. W tym przypadku zaprojektowano przekrój normalny nasypu i podsypki. Było to konieczne, ze względu na potrzebę minimalizacji robót ziemnych związanych z nasypem i całkowitą wymianą podsypki. Tego typu elementy przekrojów normalnych nie występują w bibliotece zespołów, a zatem koniecznym było opracowanie własnych podzespołów (rys.8).



Rys. 8. Przekroje normalne nasypu i podsypki

Po zdefiniowaniu przestrzennego przebiegu osi układu torów i zdefiniowaniu przekrojów normalnych przystąpić można było do generowania korytarzy. W tym celu użyto wcześniej zdefiniowane linie trasowania oraz odpowiednie niwelety. Dla korytarza nasypu powierzchnią docelową był istniejący teren, a dla korytarza podsypki nowo utworzona powierzchnia nasypu. Na podstawie korytarzy zbudowano dwie nowe powierzchnie: nowo projektowany nasyp i nowo projektowaną podsypkę. Konstrukcję korytarzy oraz ich wizualizację w układzie trójwymiarowym przedstawiono na rys. 9.

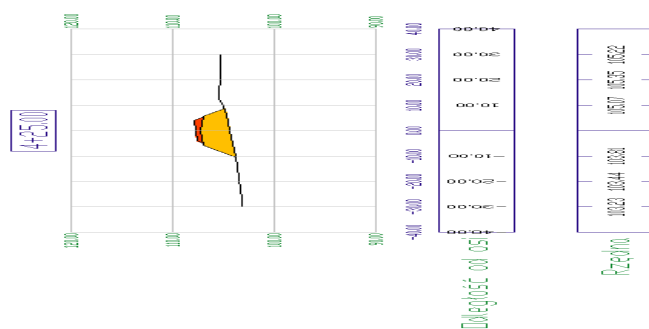


Rys. 9. Konstrukcja korytarzy w projekcie

Kolejnym etapem prac było automatyczne wygenerowanie linii próbkowania w punktach kilometraża odpowiadających miejscom modelowania korytarzy. Domyślnym źródłem danych do próbkowania przekrojów były trzy istniejące powierzchnie oraz dwie nowo zaprojektowane. Dla potrzeb obliczenia mas ziemnych zdefiniowano na podstawie utworzonych powierzchni materiały. Definicja dotyczyła następujących obiektów:

- nasyp istniejący (powyżej istniejącego terenu i poniżej istniejącego nasypu),
- podsypka istniejąca (powyżej istniejącego nasypu i poniżej istniejącej podsypki),
- nowy nasyp (powyżej istniejącego terenu i poniżej projektowanego nasypu),
- nowa podsypka (powyżej projektowanego nasypu i poniżej projektowanej podsypki).

W oparciu o trójwymiarowe modele powierzchni obiektów istniejących i projektowanych zdefiniowanie materiałów można było, po wcześniejszym ustaleniu położenia linii trasowania, sporządzić przekroje poprzeczne i wygenerować raporty objętości robót związanych z wymianą podsypki i zmianami nasypów i wykopów. Przykładowy przekrój poprzeczny z ukazanymi za pomocą kolorów materiałami pokazany został na rys. 10.



Rys. 10. Przykładowy przekrój poprzeczny

4. Podsumowanie

Przedstawione przykłady opracowania infrastruktury liniowej oczywiście nie wyczerpują tematu i możliwości systemu Civil 3D w tym zakresie. Ukazują one jednak kierunki rozwoju systemów komputerowych związanych z projektowaniem i geodezyjną obsługą inwestycji. Można stwierdzić, że standardem stają się projekty w układzie trójwymiarowym. Wysoko wyspecjalizowane systemy wyposażone w odpowiednio dostosowane do potrzeb projektu funkcje i biblioteki przyczyniają się do wzrostu efektywności procesu projektowania oraz możliwości standaryzacji pewnych rozwiązań. Zastosowane schematy działań, układy warstw i sposoby wizualizacji elementów projektu zastosowane w jednym projekcie mogą być wykorzystane w wielu innych.

Obiektowa struktura elementów projektu oraz łączące je funkcjonalne powiązania sprawiają, że edycja obiektów przebiega pod ścisłą kontrolą systemu. Pozwala to na zachowanie spójności geometrycznej całego projektu. Zmiana przebiegu osi trasy określająca np.: nowy wariant pociąga za sobą automatyczną aktualizację wszystkich pozostałych elementów. A zatem ustalenie optymalnego wariantu przebiegu trasy jest w tym przypadku bardzo proste.

Literatura

- [1] BOJAROWSKI K., SZACHERSKA M. K., WASILEWSKI A., Systemy informacji przestrzennej w projektowaniu i geodezyjnej obsłudze inwestycji. *Materiały III Konferencji Naukowo-Technicznej „Problemy Automatyzacji w Geodezji Inżynierskiej”*, Warszawa 1997.
- [2] BOJAROWSKI K., SZACHERSKA M. K., Schematy wykorzystania systemów LIS, GIS i CAD w geodezji inżynierskiej. *Materiały V Konferencji Naukowo-Technicznej „Problemy Automatyzacji w Geodezji Inżynierskiej”*, Warszawa 2001.
- [3] GRALA M., KOPIEJEWSKI G. Geodezja inżynierska. Działy wybrane. Wydawnictwo UWM 2003.
- [4] GRZELKA R., ŻBIKOWSKI J. Projekt drogi na bazie mapy numerycznej z opracowaniem geodezyjnym w systemie AutoCAD v.13. Rozprawa magisterska, Biblioteka główna UWM, Olsztyn.
- [5] PRZEWŁOCKI S., Geodezja Inżyniersko-Drogowa, PWN, Warszawa 2000.

OBJECT MODELING IN THE PROCESS OF UPGRADING ROAD AND RAILWAY ROUTES

Summary

Advanced methods for structural and geodetic design of transportation routes require models that define the current state as well as objects designed in 3D systems. The accuracy and reliability of the modeling process are largely determined by the data acquisition method and algorithms for generating digital terrain models. This paper discusses the main problems encountered in the process of upgrading roads and railway routes in the 3D system with the use of CIVIL 3D software.

Key words: road design, digital map, digital terrain model