



AKADEMIA GÓRNICZO – HUTNICZA
IM. STANISŁAWA STASZICA W KRAKOWIE

Wydział Geodezji Górniczej i Inżynierii Środowiska

PROJEKT INŻYNIERSKI

IMIĘ i NAZWISKO: Dominika Pasterczyk, Radosław Polak

Nr albumu: 284919, 277420

KIERUNEK: Geodezja i Kartografia

KATEDRA: Katedra Geoinformacji, Fotogrametrii i Teledetekcji Środowiska

TYTUŁ PROJEKTU: „Wspomaganie projektowania linii metra w Krakowie w oparciu o narzędzia GIS i CAD”

TITLE OF WORK: “Supporting the subway design process in Cracow by the use of GIS and CAD tools”

OPIEKUN PROJEKTU: prof. dr hab. inż. Beata Hejmanowska

Ocena projektu:

.....
Podpis Opiekuna projektu

Kraków, 2018 r.

„Uprowadzony o odpowiedzialności karnej na podstawie art. 115 ust. 1 i 2 ustawy z dnia 4 lutego 1994 r. o prawie autorskim i prawach pokrewnych (tj. Dz. U. z 2006 r. Nr 90, poz. 631 z późn. zm.): „Kto przywłaszcza sobie autorstwo albo wprowadza w błąd co do autorstwa całości lub części cudzego utworu albo artystycznego wykonania, podlega grzywnie, karze ograniczenia wolności albo pozbawienia wolności do lat 3. Tej samej karze podlega, kto rozpowszechnia bez podania nazwiska lub pseudonimu twórcy cudzy utwór w wersji oryginalnej albo w postaci opracowania, artystyczne wykonanie albo publicznie zniekształca taki utwór, artystyczne wykonanie, fonogram, wideogram lub nadanie.”, a także uprowadzony o odpowiedzialności dyscyplinarnej na podstawie art. 211 ust. 1 ustawy z dnia 27 lipca 2005 r. Prawo o szkolnictwie wyższym (tj. Dz. U. z 2012 r. poz. 572, z późn. zm.) „Za naruszenie przepisów obowiązujących w uczelni oraz za czyny uchybiające godności studenta student ponosi odpowiedzialność dyscyplinarną przed komisją dyscyplinarną albo przed sądem koleżeńskim samorządu studenckiego, zwanym dalej "sądem koleżeńskim", oświadczam, że niniejszą pracę dyplomową wykonałem(-am) osobiście i samodzielnie i że nie korzystałem(-am) ze źródeł innych niż wymienione w pracy.”

.....
data

.....
czytelny podpis studenta

Abstrakt

Celem niniejszego projektu inżynierskiego jest wspomaganie projektowania linii metra w Krakowie w oparciu o narzędzia GIS i CAD oraz wizualizacja zebranych poprzez ankietę danych, wykorzystując do tego internetowa aplikację M.App Studio. Praca obejmuje trzy etapy. Wykorzystano różne narzędzia inżynierskie w celu zwizualizowania teoretycznych przebiegów linii metra wraz z ich analizą. Wykonano mapy będące efektem prac i analiz w programie ArcGIS, które zawierają najważniejsze informacje na temat lokalizacji metra i jego zasięgu. W kolejnym etapie przeprowadzono ankietę wśród mieszkańców Krakowa, a pozyskane dane zwizualizowano na interaktywnych mapach, które są wynikiem współpracy z firmą Hexagon. Ostatnim etapem pracy inżynierskiej jest trójwymiarowy model mostu wykonany w programie SketchUp, będący częścią jednej z projektowanych linii metra, który następnie został umieszczony w wirtualnej rzeczywistości, dzięki wykorzystaniu aplikacji Google Earth, wpasowując się jednocześnie w krajobraz miasta.

Praca jako całość stanowi wieloetapową analizę problemu i pozwala na wykorzystanie różnych narzędzi inżynierskich wspierających powstawanie tego typu projektów inwestycyjnych, jakim jest budowa metra.

Abstract

The purpose of this BSc Thesis is supporting the subway design process by the use of GIS and CAD tools and also using the internet application M.App Studio to visualize subway related data collected via survey. This paper consist of three stages. Various engineering tools have been used to analyze and present possible line courses. In ArcGIS software subway's localization and range maps have been made. In the next step the survey has been carried out among Cracow's citizens, and all the acquired data was presented in a form of interactive maps which are the result of cooperation with Hexagon Geospatial. During the final stage of this Bsc Thesis a 3D model of a bridge was created in a SketchUp software. This model was meant to be a part of one of the projected subway lines and was also presented in Google Earth's virtual reality to place it in urban landscape.

This Thesis is a multistage analysis for subway design process and was created to present the usage of various engineering tools which can support this kind of investment projects.

Spis treści

1. Wstęp.....	5
2. Cel projektu.....	7
3. Opis pola testowego	8
4. Projekt linii metra za pomocą analizy w programie ArcGIS.....	10
4.1 Założenia zastosowane do analizy w programie ArcGIS i dane	10
4.2 Metodyka.....	11
4.2.1 Analiza w programie ArcGiS z zastosowaniem kryteriów	11
4.3 Wyniki.....	15
5. Ankieta i wizualizacja danych w aplikacji M.App Studio	21
5.1 Metodyka.....	21
5.1.1 Ankieta jako narzędzie badawcze	21
5.1.2 Wizualizacja danych w aplikacji M.App Studio firmy Hexagon	25
5.2 Wyniki.....	34
6. Stworzenie modelu 3D mostu w programie SketchUp	36
6.1 Metodyka.....	36
6.1.1 Projektowanie, wymiarowanie i modelowanie 3D obiektu w SketchUp..	36
6.1.2 Wizualizacja modelu 3D w aplikacji Google Earth.....	41
6.2 Wyniki.....	42
7. Wnioski.....	44
8. Literatura.....	46
9. Spis tabel.....	47
10. Spis rysunków.....	48
11. Spis załączników	50
12. Załączniki	51

1. Wstęp

Wzrost zapotrzebowania na infrastrukturę transportową w dużych miastach zdaje się być wyraźnie zauważalny w ostatniej dekadzie. Nowoczesne technologie rozwijające się w każdej dziedzinie szeroko pojętej inżynierii dają mnóstwo możliwości realizowania nowych projektów. Ważną rolę w planowaniu przedsięwzięć odgrywają oprogramowania GIS i CAD dające możliwość dokładnej analizy przestrzennej wielu czynników, wyboru lokalizacji inwestycji oraz precyzyjnego tworzenia nowych obiektów. Rosnąca potrzeba na coraz szybsze przemieszczanie się pomiędzy dwoma miejscami wymaga natychmiastowej odpowiedzi. Jednakże, ograniczona ilość miejsca na powierzchni, intensywna zabudowa mieszkalna oraz inne obiekty o charakterze zabytkowym ograniczają należyty rozwój komunikacji miejskiej w Krakowie. Rozwiązaniem tych problemów mogłaby być szybka kolej podziemna – metro. Budowa metra w Krakowie to od kilku lat kontrowersyjny temat. W referendum [8] przeprowadzonym w 2014 roku za budową metra opowiedziało się 55,11% osób biorących udział w głosowaniu. We wrześniu 2018 roku zostało podpisane studium wykonalności, które ma na celu określenie możliwości oraz warunków stworzenia szybkiego i bezkolizyjnego transportu szynowego w Krakowie

W przeprowadzaniu analiz problemów i w podejmowaniu decyzji niezastąpiony okazuje się opracowany około 50 lat temu System Informacji Geograficznej (ang. geographic information system, GIS). Dane GIS są to informacje połączone z położeniem geograficznym. W odróżnieniu od tradycyjnych map, mapy GIS zawierają kilkakrotnie więcej informacji często niezbędnych w rozwiązywaniu problemów czy przeprowadzaniu analiz. Analizując budynek narysowany na tradycyjnej mapie, na przykład szpital, możemy znaleźć jedynie informacje takie jak numer budynku, czy przy jakiej ulicy się znajduje. Ten sam budynek na mapie GIS może zawierać, oprócz informacji jakie możemy uzyskać z tradycyjnej mapy, informacje na temat roku budowy, nazwy obiektu, powierzchni użytkowej, koszcie budowy czy planowanych modernizacjach. GIS nie ogranicza się jedynie do fizycznych cech obiektów. Dane GIS mogą zawierać również różnorakie informacje na temat ludności mieszkającej na danym terenie. Za pomocą Systemu Informacji Geograficznej można obrazować na mapie m.in. dane demograficzne. Mapy takie jak mapy zachorowalności, mapy przestępczości czy mapy stref zagrożonych powodzią i stref zagrożonych pożarami mogą być wykorzystywane w analizach przez szpitale, policję oraz różne służby ratownicze. GIS m.in. pozwala symulować przebiegi powodzi i oceniać straty oraz jakie obiekty są najbardziej narażone. GIS jest również często wykorzystywany przy planowaniu inwestycji pod względem ekonomicznym. Przykładowo przeprowadzone analizy na terenie danego obszaru w dużym stopniu mogą pomóc inwestorowi w podjęciu decyzji w jakiej lokalizacji najbardziej opłacalne będzie wybudowanie galerii handlowej czy hali sportowej. Każdy obiekt powinien mieć dokładnie zaplanowane miejsce w przestrzeni. Dobrze przemyślana lokalizacja inwestycji staje się w następstwie częścią prawidłowo funkcjonującego miasta. Dzięki GISowi pojawiła się możliwość opisywania, przewidywania i planowania rozkładów przestrzennych wielu zjawisk. GIS jest nieodłącznym narzędziem, wspomagającym prace instytucji, osób indywidualnych oraz firm. Na jego technologii oparte są systemy nawigacji, znane portale geoinformacyjne oraz powszechnie używane aplikacje jak GoogleEarth [1]. Gama zastosowań GIS jest bardzo szeroka. Zaczynając od administracji, statystyki, edukacji oraz nauki poprzez ochronę przyrody i planowanie przestrzenne do monitorowania zanieczyszczeń, zarządzania kryzysowego i ochronę zdrowia [3].

”Mapa jest graficznym, określonym matematycznie modelem rzeczywistości odniesionym do płaszczyzny zgodnie z przyjętą skalą, prezentującą za pomocą symboli wartości atrybutów i związki przestrzenne między nimi.” [7]. Mapa jako obraz przestrzenny pozwala na przekazanie konkretnej informacji osobie która z niej korzysta. Umieszczone na niej symbole mają określone znaczenie, często zgodnie z przyjętymi konwencjami. Wizualizacja danych stanowi ważny element w procesie przestrzennej analizy danych. Graficzne przedstawienie danych przestrzennych z wykorzystaniem wykresów czy map może prowadzić do formułowania hipotez lub też konkretnych wniosków. Szczególnie istotnym elementem wizualizacji jest wydobywanie wiedzy ze zbiorów danych. W zależności od etapu analizy procesu badawczego wykorzystuje się różne metody wizualizacji danych przestrzennych. Są to metody jakościowe, dzięki którym można określić występowanie danego zjawiska poprzez wykorzystanie np. map zasięgów, oraz metody ilościowe pozwalające zobrazować natężenie danego zjawiska przy użyciu np. kartogramu. Wśród form prezentacji danych należy uwzględnić przede wszystkim mapy, ale również prezentacje trójwymiarowe oraz multimedialne [10]. Geowizualizacja czyli wizualizacja geograficzna jest używana do ułatwienia identyfikacji i interpretacji danych przestrzennych i czasowych. Jest to proces wspomagający budowanie wiedzy poprzez wizualną interakcję użytkownika z danymi daje możliwości lepszego poznania zagadnienia oraz ułatwia analizę wpływów danego zjawiska na otaczającą jego rzeczywistość.

Technologia CAD wyparła dawniej stosowany rysunek techniczny i znacznie przyspieszyła proces modelowania. Dzięki rozwojowi projektowania wspomaganego komputerowo jesteśmy dziś w stanie stworzyć model obiektu w formie 3D. Stworzenie takiego projektu zapewnia wysoką szczegółowość oraz dostęp do zasobów wiedzy. Analiza poprawności funkcjonowania oraz możliwość dokonywania poprawek w strukturze obiektu usprawniają procesy związane z wprowadzaniem zmian w projekcie. Grafika trójwymiarowa stanowi bardzo ważne narzędzie w procesie projektowania. Wykorzystanie modeli 3D w programach wspomagających tworzenie nowych obiektów daje inżynierom wiele możliwości. Dzięki przygotowanym symulacjom jesteśmy w stanie określić wzajemny wpływ wielu czynników charakteryzujących obiekt zanim ten powstanie w świecie rzeczywistym, przez co zmniejszają się szanse wystąpienia błędów podczas realizacji inwestycji. Grafika 3D jest obecnie wykorzystywana w świecie filmu, gier komputerowych, programów multimedialnych ale przede wszystkim jest bardzo ważnym narzędziem w rękach każdego inżyniera [4]. Głównym czynnikiem, który zadecydował o tak intensywnym rozwoju technologii CAD jest możliwość odwzorowania wyglądu projektowanych obiektów. Obrazy trójwymiarowe są wyświetlane z zachowaniem perspektywy, co pozwala użytkownikowi oglądać je w przestrzeni 3D. Upowszechnienie się tej technologii w dzisiejszych czasach było możliwe dzięki rozwojowi branży komputerowej.

W niniejszej pracy podjęto się zbadania procesu budowy metra w Krakowie. Wykorzystano do tego analizy przestrzenne w programie ArcGIS, wizualizacje danych w aplikacji M.App Studio firmy Hexagon oraz narzędzia do tworzenia modeli trójwymiarowych programu SketchUp.

2. Cel projektu

Projekt inżynierski składa się z trzech części. Głównym jego celem a także pierwszą częścią jest znalezienie optymalnej lokalizacji dla budowy linii metra w Krakowie, które może skutecznie usprawnić podróżowanie w mieście. Analiza ma na celu znalezienie najlepszego przebiegu trzech linii metra przy uwzględnieniu kryteriów lokalizacyjnych. Rosnąca potrzeba na coraz szybsze przemieszczanie się pomiędzy dwoma miejscami wymaga natychmiastowej odpowiedzi. Jednakże, ograniczona ilość miejsca na powierzchni, intensywna zabudowa mieszkalna oraz inne obiekty o charakterze zabytkowym ograniczają należyty rozwój komunikacji miejskiej w Krakowie. Rozwiązaniem tych problemów mogłaby być szybka kolej podziemna – metro. Obecnie na terenie Krakowa coraz częściej mieszkańcy spotykają się z zatorami na drogach, tracąc bardzo dużo czasu w ciągu dnia. Wybudowanie niezależnych linii metra z pewnością przyniosłoby wiele korzyści mieszkańcom miasta. Metro, w porównaniu do klasycznej komunikacji miejskiej charakteryzuje się większą prędkością przejazdu (do około 70km/h) oraz korzystaniem z niezależnych tras co skutkuje brakiem jakichkolwiek opóźnień spowodowanych przez korki drogowe. Metro jest dobrym rozwiązaniem również z powodów ekologicznych, ponieważ emituje dużo mniej zanieczyszczeń do atmosfery niż pojazdy wykorzystujące silniki spalinowe. Analiza została wykonana w programie ArcGIS przy pomocy narzędzi takich jak bufory, selekcja po atrybutach lub lokalizacji, sumowanie, wycinanie. Praca w programie została wykonana na podstawie danych o charakterze katastralnych dla miasta Kraków, oraz danych wektorowych infrastruktury, terenów zielonych, rzek, jezior oraz zabudowy miasta.

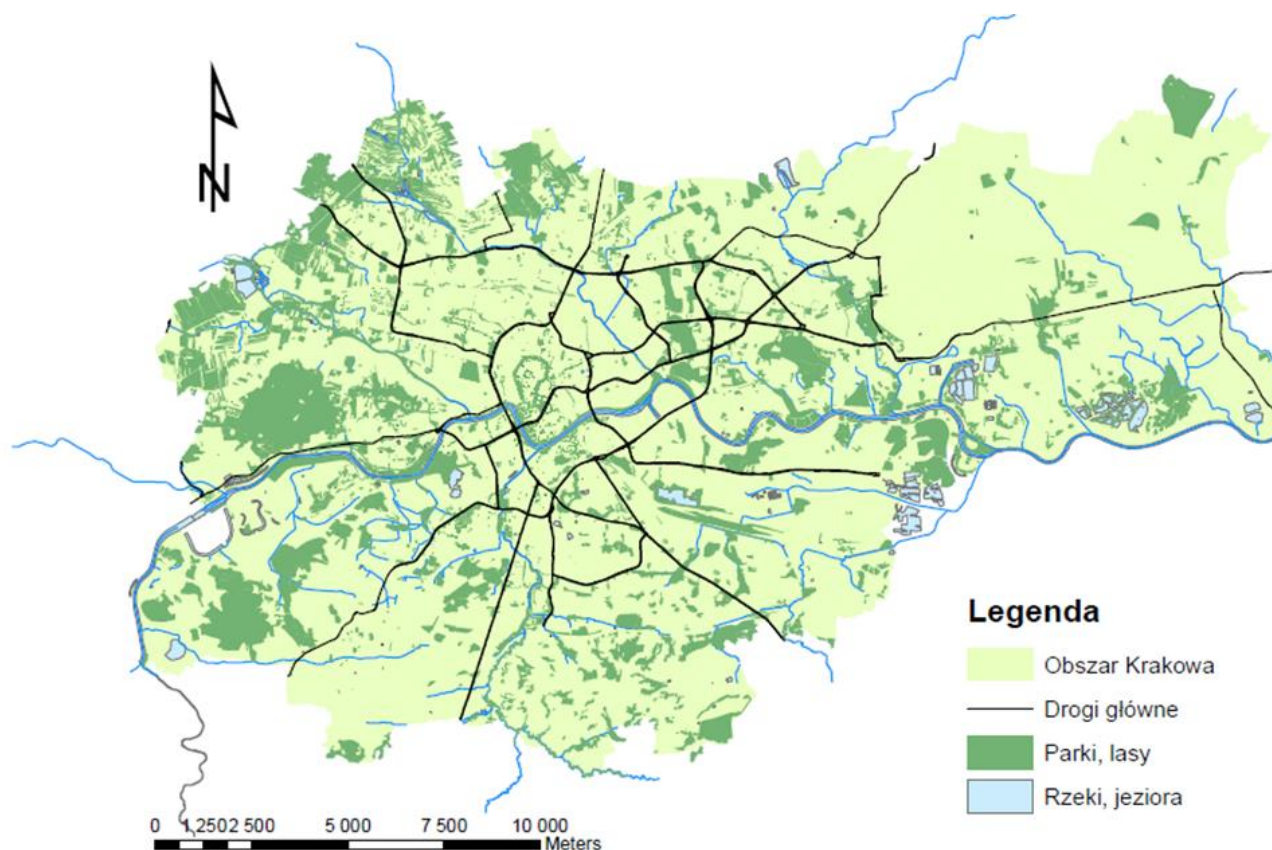
W drugim etapie projektu przedstawiono wyniki przeprowadzonej wśród mieszkańców Krakowa ankiety na temat podróżowania komunikacją miejską i zwizualizowano zebrane dane w aplikacji M.App Studio firmy Hexagon. Mieszkańcy mogli między innymi wyrazić swoją opinię na temat pomysłu budowy metra pod względem przydatności oraz wybrać według nich najbardziej optymalną wersję przebiegu linii metra (jedną z trzech zaprojektowanych). Wszystkie zebrane informacje zostały zwizualizowane za pomocą wykresów i map interaktywnych w aplikacji M.App Studio i udostępnione w sieci.

W trzeciej części pracy inżynierskiej stworzono obiekt w przestrzeni trójwymiarowej. Obiektem tym jest przejazd dla drugiej linii metra nad Wisłą. Koniecznym było zagwarantowanie możliwości przecięcia rzeki dla projektowanej linii metra. Budowa mostu jest niezbędna z powodu horyzontalnego biegu rzeki, który odcina północą część miasta od południowej. W programie SketchUp od podstaw stworzono cały model, tak by następnie umieścić go w wirtualnej rzeczywistości oferowanej przez Google Earth.

Wszystkie trzy etapy składają się na jeden projekt, który ma za zadanie jak najlepiej wspomóc projektowanie linii metra w Krakowie. Został wykonany projekt przebiegu linii oraz umiejscowienia stacji metra. Przeprowadzona ankieta oraz wizualizacja tych danych w aplikacji M.App studio uczyniła, że odpowiedzi Krakowian są pokazane w sposób przejrzysty i bardziej przystępny, co więcej ankieta ukazała zdanie mieszkańców na temat budowy metra oraz wybrali oni najlepszy według nich przebieg. Ostatni ale nie mniej ważny jest model 3D mostu dla linii metra, która przebiega przez rzekę Wisłę bez którego projekt budowy potencjalnego metra nie mógłby być zrealizowany w pełni.

3. Opis pola testowego

Obszarem badania jest miasto Kraków (Rysunek 1) znajdujące się w powiecie krakowskim, w gminie Kraków. Miasto jest stolicą województwa małopolskiego (Rysunek 2) i była stolicą Polski (do roku 1795r.). Kraków ma powierzchnię 326,85 km² i jest drugim miastem zaraz po Warszawie pod względem wielkości w Polsce. Podobnie jeżeli chodzi o liczbę mieszkańców. Kraków z liczbą ludności wynoszącą 767 348 mieszkańców plasuje się również na drugim miejscu [2]. Przez Kraków prowadzi autostrada A4 łącząca Kraków od wschodu z Tarnowem, oraz od zachodu z Katowicami, co czyni Kraków ważnym przystankiem na szlaku komunikacyjnym Polski. Kraków jest mocno zurbanizowanym i bardzo dynamicznie rozwijającym się miastem. Mogą na to wskazywać bardzo rozwinięte strefy usług i handlu. Ważną rolę odgrywa również Port Lotniczy im. Jana Pawła II Kraków-Balice, w ostatnim roku lotnisko obsłużyło ponad 5 mln podróżujących i ta liczba z roku na rok ciągle rośnie. Podczas Konferencji ds. Handlu i Rozwoju (ONZ) w 2011 r. uznano Kraków za najlepszą lokalizację dla centrów usług dla biznesu. Przyczyniło się to do powstania wielu nowych miejsc pracy, co skutkowało emigracją ludności z obszarów gdzie stopa bezrobocia jest wysoka. Rosnące korki w mieście rodzą potrzebę nowej inwestycji która by usprawniła komunikację – jest nią metro.



Rysunek 1 Mapa Krakowa- opracowanie własne (źródło danych www.geoportal.gov.pl).



Rysunek 2 Podział administracyjny województwa małopolskiego (krakow.stat.gov.pl).

4. Projekt linii metra za pomocą analizy w programie ArcGIS

Zaprojektowano trzy linie metra w programie ArcGIS, które są głównym celem projektu inżynierskiego. Na początku stworzono schemat analizy w Model Builder. Do analizy zastosowano kryteria podane w rozdziale 4.1. Końcowy przebieg narysowano sugerując się warstwami, które zostały utworzone poprzez analizę w Model Builder. W uzasadnionych przypadkach brano pod uwagę warstwę działek zabudowanych. Dla każdej z trzech linii zaprojektowano lokalizacje stacji metra. Efektem prac jest projekt trzech linii metra i stacji odpowiednich dla każdej z nich.

4.1 Założenia zastosowane do analizy w programie ArcGIS i dane

Zaprojektowanie linii metra wymaga spełnienia wielu warunków aby komunikacja funkcjonowała prawidłowo i sprawnie. Wybór lokalizacji zależy od czynników między innymi, które zostały opisane w Rozporządzeniu Ministra Infrastruktury z dnia 17 czerwca 2011 r. w sprawie warunków technicznych, jakim powinny odpowiadać obiekty budowlane metra i ich usytuowanie [3]. Zgodnie z rozporządzeniem „*Linie metra sytuuje się w sposób minimalizujący negatywny wpływ ich budowy i eksploatacji na zabudowę i infrastrukturę miejską, w szczególności poprzez prowadzenie ich pod ulicami i miejscami niezabudowanymi*”, jednakże w tak zurbanizowanym mieście jak Kraków jest to praktycznie niewykonalne. Z wyżej wymienionego powodu, wprowadzono również możliwość projektowania linii pod zabudową w lokalizacjach gdzie taki przebieg jest niezbędny. Po analizach wprowadzono także własne kryteria dotyczące projektu linii metra i sformułowano następujące warunki:

- Linie metra powinny zostać zaprojektowane pod ulicami i terenami niezabudowanymi.
- W uzasadnionych przypadkach mogą przebiegać pod terenami zabudowanymi.
- Tereny wodne (rzeki, jeziora) zostały wyłączone z analizy.
- Tereny o charakterze zabytkowym (teren Starego Miasta) zostały wyłączone z analizy.
- Linie metra mogą przebiegać na powierzchni na terenach niezabudowanych lecz nie mogą przebiegać na powierzchni na terenach zielonych (Parki, lasy, rezerwaty itp.)
- Stacje projektowanego metra powinny zostać usytuowane w odległości nie większej niż 200m od istniejących przystanków komunikacji miejskiej.
- Bufor utworzony od terenów wodnych, który wynosi 100m został wyłączony z analizy.

Dane, które zostały wykorzystane w projekcie linii metra w programie ArcGIS:

- Obszar Krakowa tj. warstwa zawierająca granice działek – Dane o charakterze katastralnym (geoportal.gov.pl)
- Zestaw danych wektorowych pochodzących z serwisu OpenStreetMap – dane wektorowe krakowskich dróg, budynków, obszarów zielonych, przystanków komunikacji miejskiej, jezior i rzek (geofabrik.de)

4.2 Metodyka

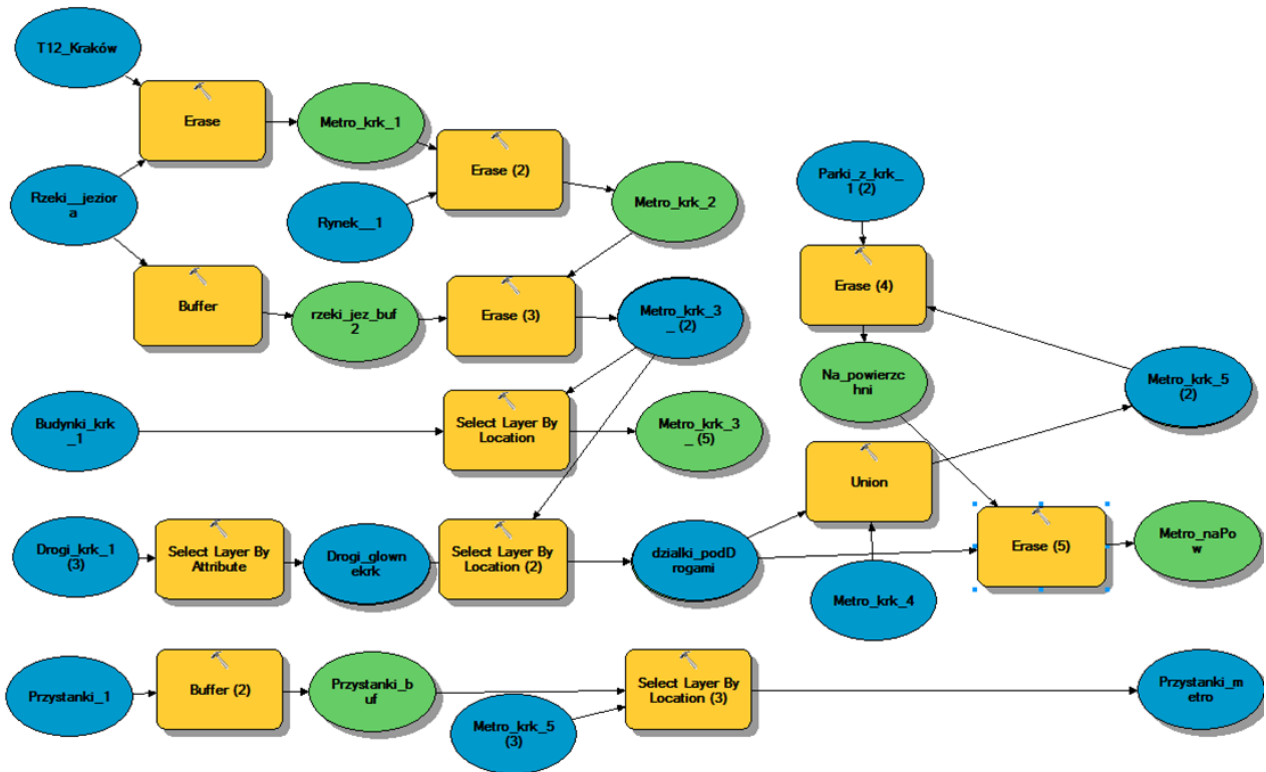
Wykonany projekt przebiegu linii metra w Krakowie składał się z kilku etapów. Projekt wykonano za pomocą narzędzi GIS w programie ArcGIS. Przed pracą w programie, przeanalizowano i wybrano orientacyjne przebiegi linii metra, które możliwie najlepiej usprawnią komunikację w mieście. Wybrano trzy linie metra, których stacje początkowe i końcowe przedstawiono w tabeli (Tabela 1). Każda z trzech linii ma za zadanie obsługę innych rejonów Krakowa. Następnie prace w programie ArcGIS zaczęto od wprowadzenia i przygotowania danych o charakterze katastralnym dla miasta Kraków oraz danych wektorowych pochodzących z serwisu OpenStreetMap.

Tabela 1 Stacje początkowe i końcowe projektowanych linii metra.

Numer linii	Przystanek początkowy	Przystanek końcowy
Linia nr 1	Mydlniki (Bronowice)	Plac Centralny R. Regana (Nowa Huta)
Linia nr 2	IKEA (Prądnik Biały)	Uniwersytecki Szpital Dziecięcy w Krakowie (Bieżanów – Prokocim)
Linia nr 3	Jancarza (Mistrzejowice)	Czerwone Maki (Dębniki)

4.2.1 Analiza w programie ArcGiS z zastosowaniem kryteriów

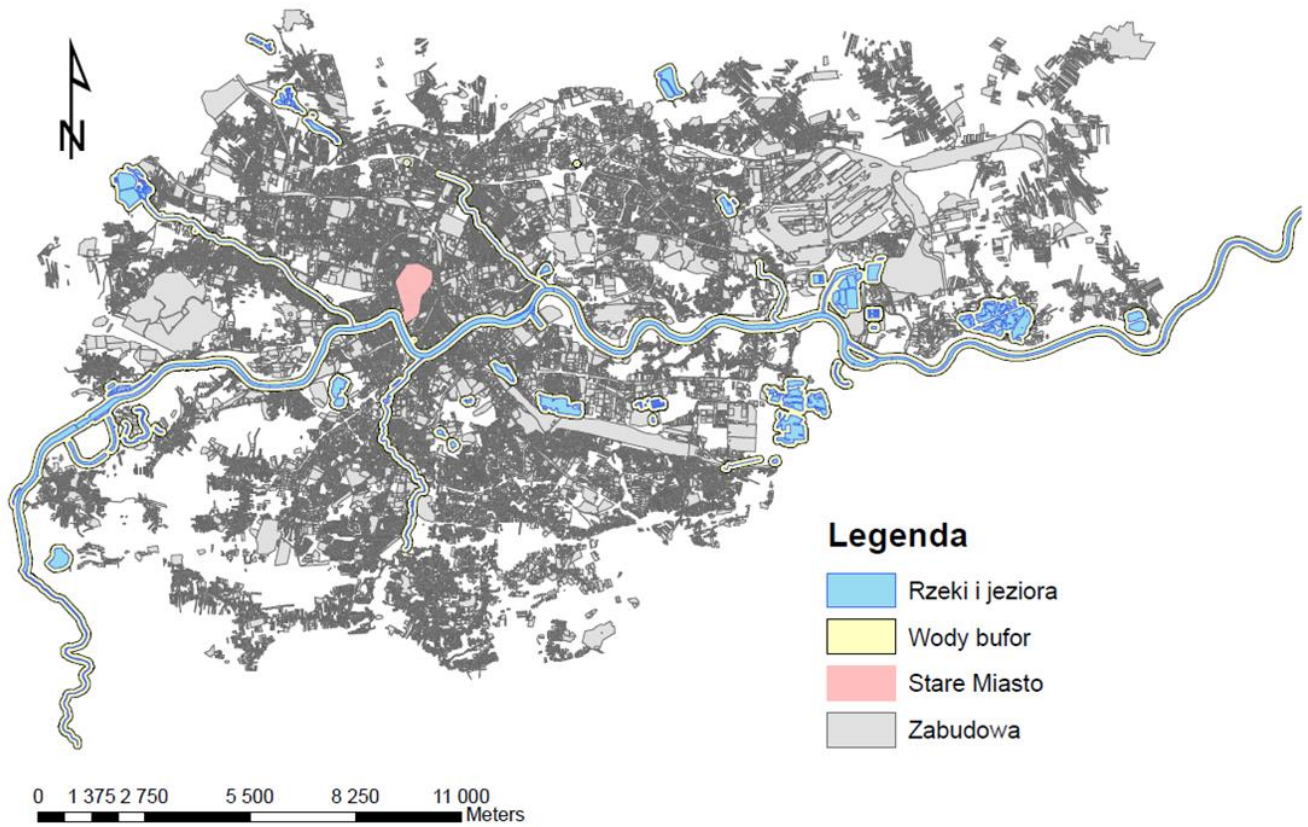
W programie ArcGIS wykonano analizę, która miała na celu wybranie obszarów (działek) pod którymi lub na których zgodnie z kryteriami mogłyby być zaprojektowane linie metra. Zastosowane kryteria wyszczególnione są w podrozdziale 4.1. Całość analizy wykonano w Model Builder, schemat analizy przedstawiono poniżej (Rysunek 3). Zastosowano między innymi takie narzędzia GIS jak „Erase (usuń)”, „Buffer (bufor)”, „Union (połącz)”, „Select layer by location (selekcja za pomocą lokalizacji)”, „Select layer by attribute (selekcja za pomocą atrybutu)”.



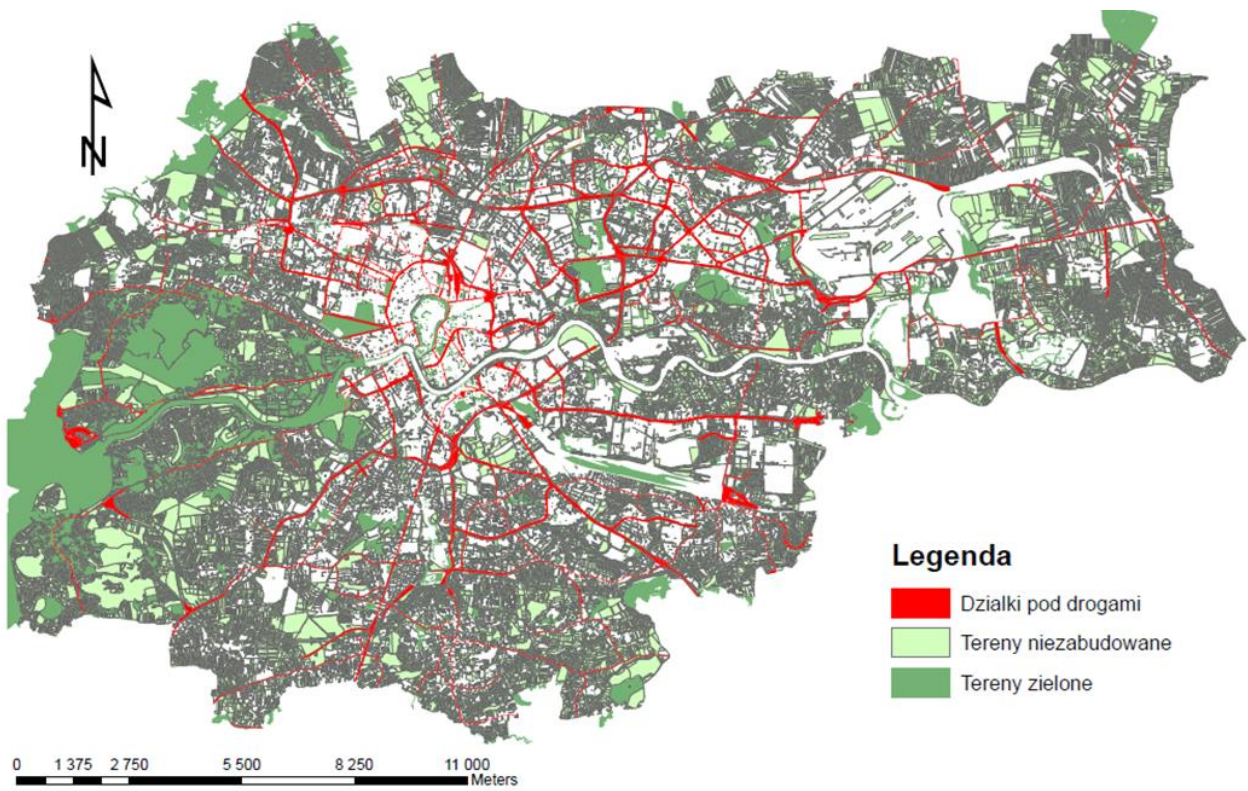
Rysunek 3 Schemat analizy w Model Builder.

Rezultatem analizy są trzy warstwy wektorowe, które kolejno zawierają:

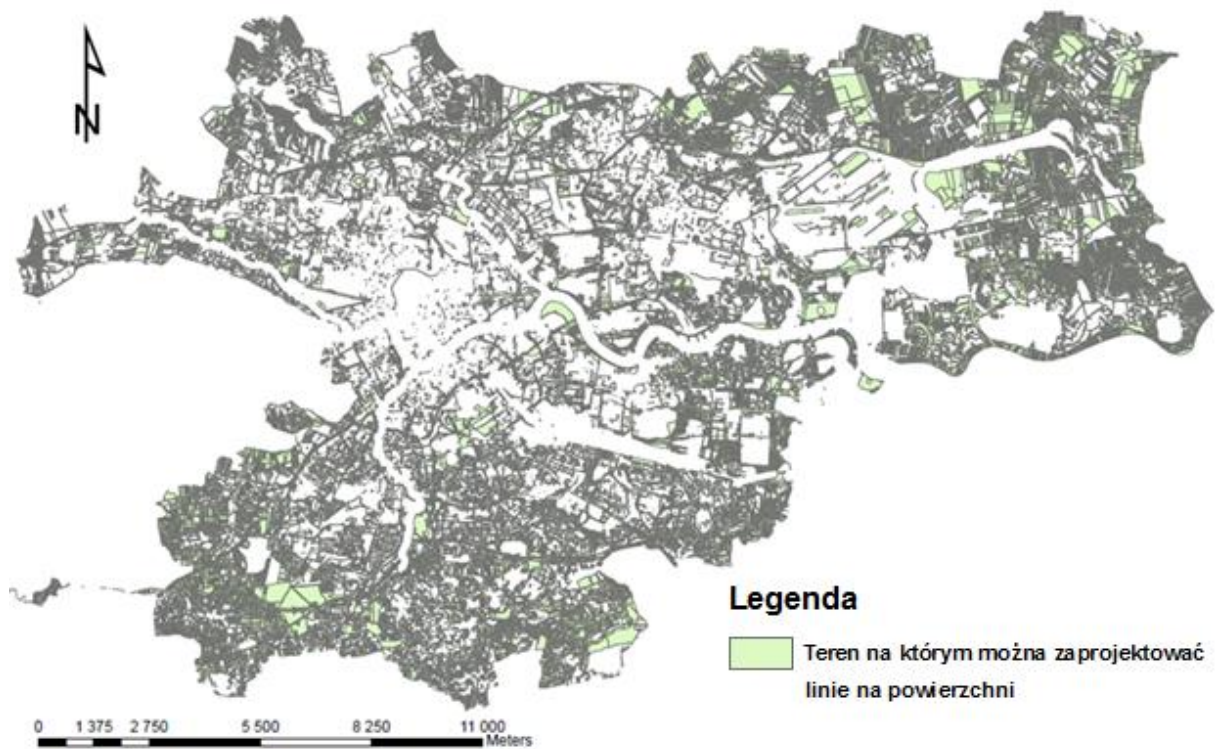
- Tereny pod którymi jest możliwy projekt linii metra – warstwa powstała po wyłączeniu obszaru Starego Miasta, obszarów wodnych, buforów utworzonych od wód, działek zabudowanych (Rysunek 4) . Zawiera natomiast działki na których są wybudowane drogi, tereny niezabudowane i tereny zielone (Rysunek 5).
- Tereny na których jest możliwy projekt linii metra – warstwa jest efektem operacji na warstwie powyżej. Zastosowano narzędzie „Erase” aby usunąć z warstwy tereny zielone oraz tereny na których wybudowane są drogi.(Rysunek 6)
- Najbardziej optymalne tereny na których zostałyby wybudowane stacje metra- Warstwa powstała po utworzeniu buforu (200m) od istniejących przystanków komunikacji miejskiej (Rysunek 7) i połączeniu z warstwą zawierającą tereny na których zostały zaprojektowane linie metra (Rysunek 8).



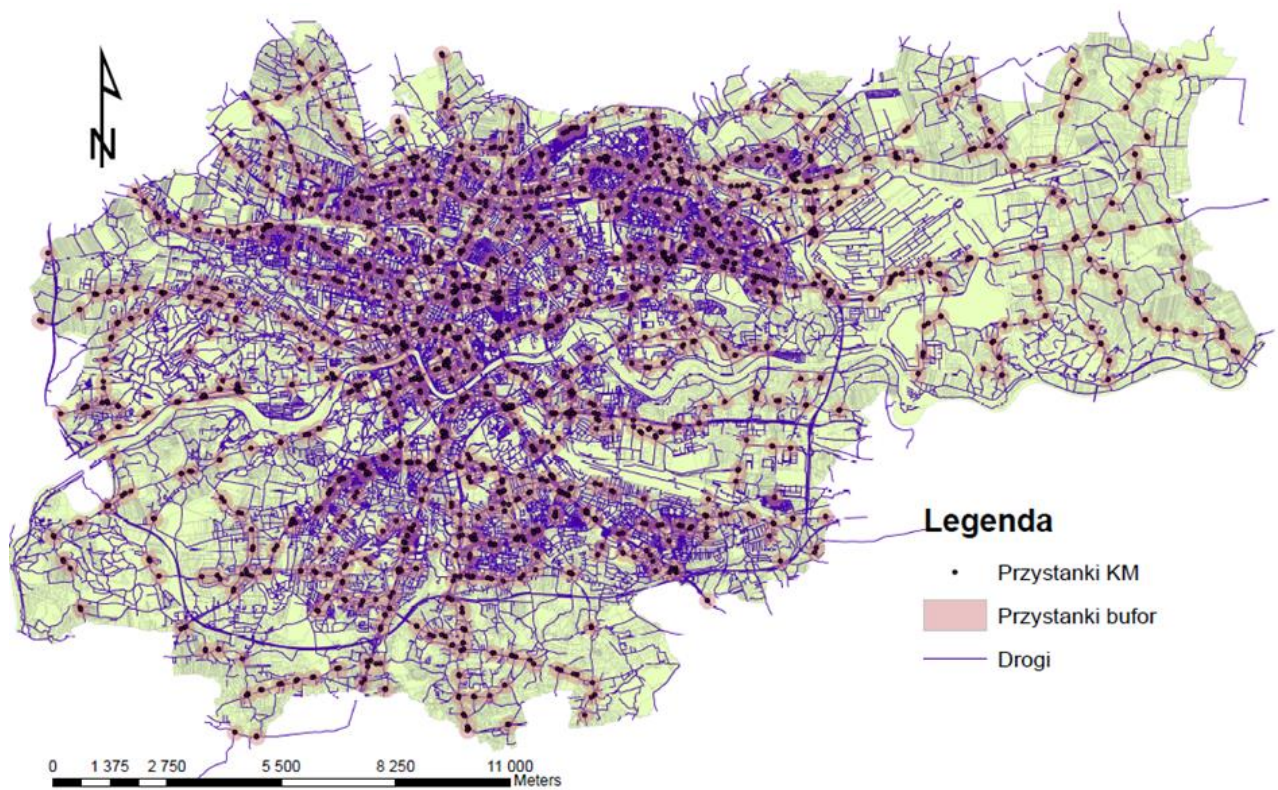
Rysunek 4 Tereny wyłączone z analizy.



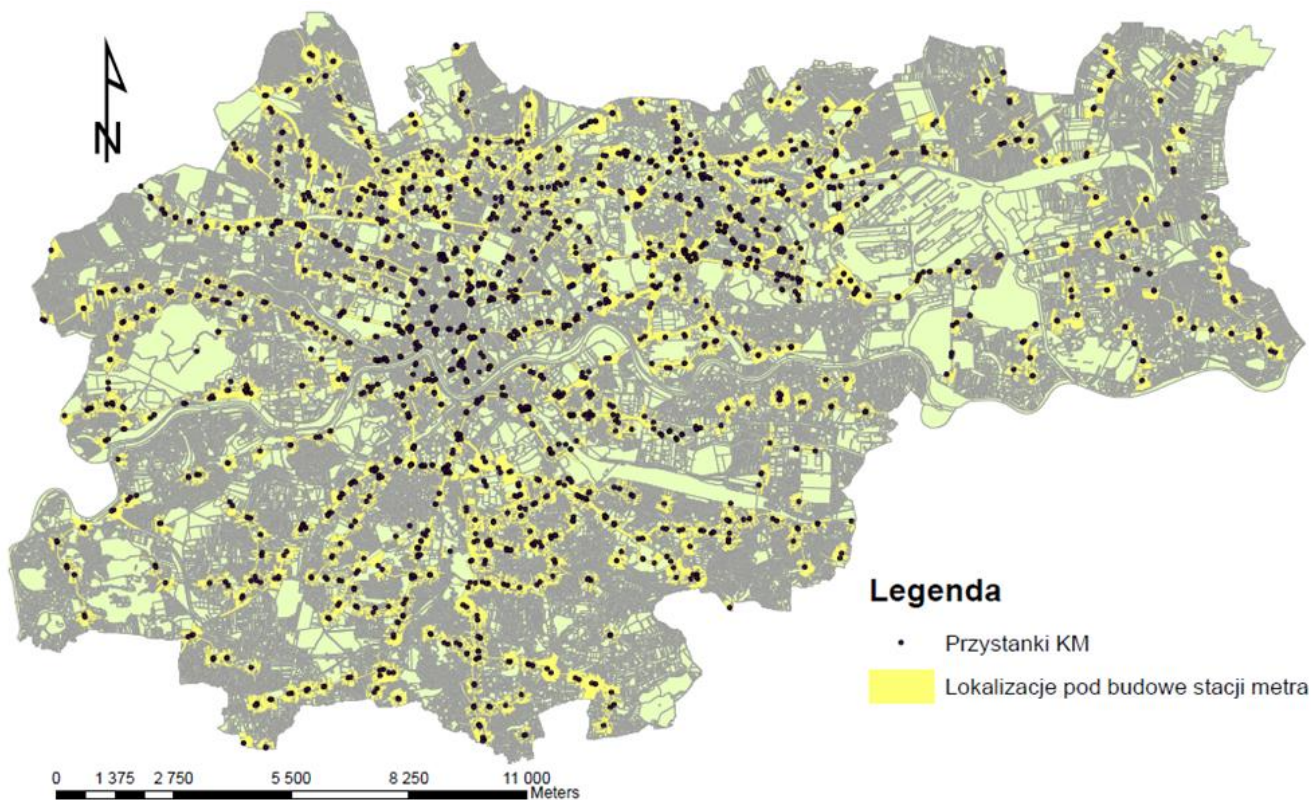
Rysunek 5 Tereny pod którymi może zostać zaprojektowana linia metra.



Rysunek 6 Mapa przedstawia teren na którym można zaprojektować linie na powierzchni.



Rysunek 7 Mapa przedstawiająca lokalizację przystanków komunikacji miejskiej i utworzony bufor.



Rysunek 8 Mapa przedstawiająca tereny, które mogą być przeznaczone pod budowę stacji metra.

4.3 Wyniki

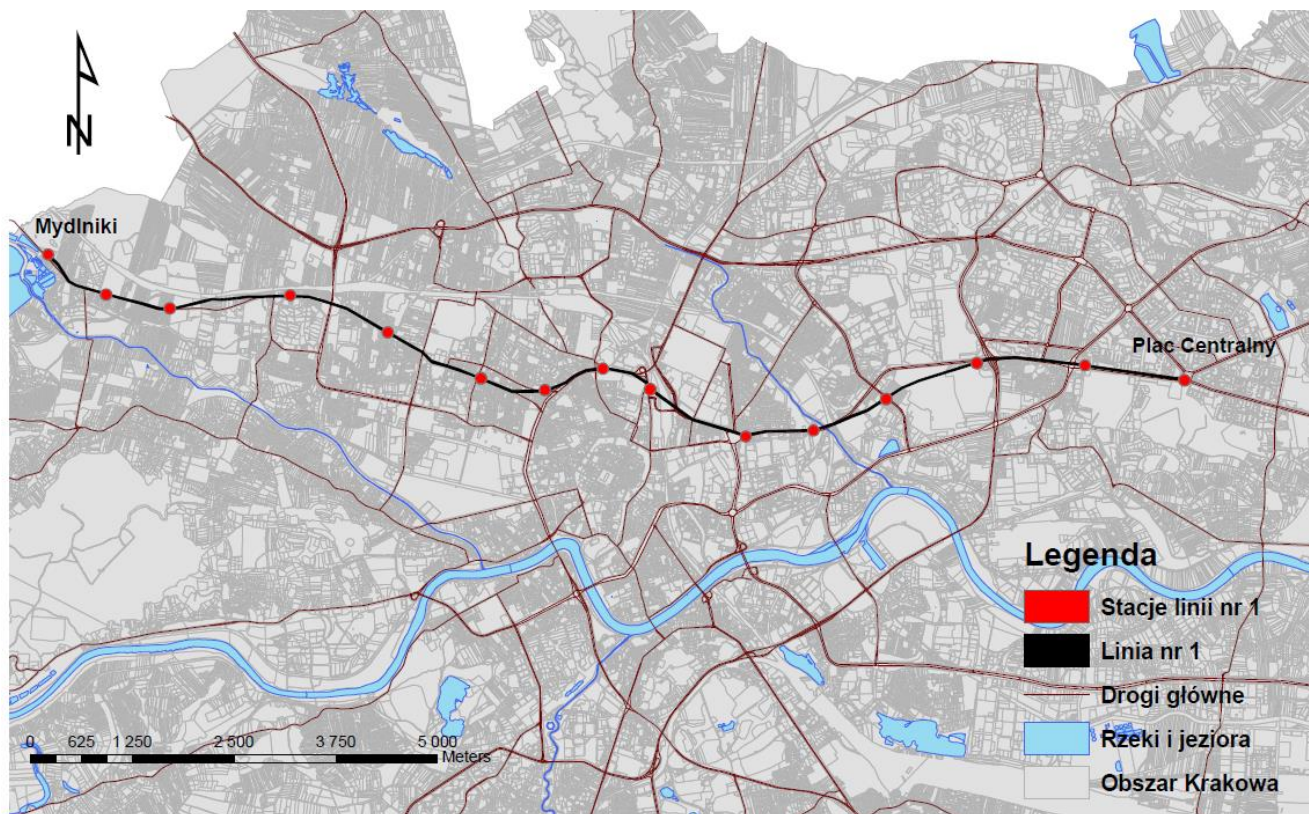
Ostatnim etapem było zaprojektowanie linii metra oraz stacji. Zaprojektowano trzy linie metra, których projekt pokrywa się z początkowymi założeniami dotyczącymi przebiegu jak również wszystkich stacji metra uwzględniając zamysł dotyczący stacji początkowych i końcowych. W projektowaniu przebiegu linii, tereny zabudowane również zostały wzięte pod uwagę z powodu braku możliwości spójnego przebiegu na terenach wyznaczonych jako lokalizacja pod budowę metra. W efekcie otrzymano trzy zaprojektowane linie metra:

Linia nr 1, poniżej przedstawiono atrybuty linii metra (Tabela 2) oraz przebieg projektowanej linii na mapie Krakowa (Rysunek 9).

Tabela 2 Tabela przedstawiająca atrybuty projektowanej linii nr 1.

Nazwa linii metra	Linia nr 1
Stacje początkowe i końcowe	Początek: Mydlniki (Bronowice) Koniec: Plac Centralny (Nowa Huta)

Długość linii	14 950 m
Długość przebiegu pod obszarami wyznaczonymi w procesie analizy	11 900m
Długość przebiegu na powierzchni (teren wyznaczony w procesie analizy)	Okolo 970m
Długość przebiegu linii metra pod terenami zabudowanymi (tereny nie wliczające się do analizy)	Okolo 2000 m
Procent całej trasy jaką stanowi trasa uzyskana dzięki analizie w programie	86%
Średnia odległość między stacjami	1068m
Ilość potrzebnych mostów	1 (rzeka Prądnik)
Ilość stacji	15
Zaprojektowane stacje metra (nazwy)	<ol style="list-style-type: none"> 1. Plac Centralny 2. Rondo Czyżyńskie 3. AWF 4. Tauron Arena 5. Mogilska 6. Rondo Mogilskie 7. Politechnika 8. Nowy Kleparz 9. Radio Kraków 10. Biprostal 11. Bronowicka 12. Balicka/AK 13. UR Balicka 14. Kraków Mydlniki 15. Mydlniki Stawy



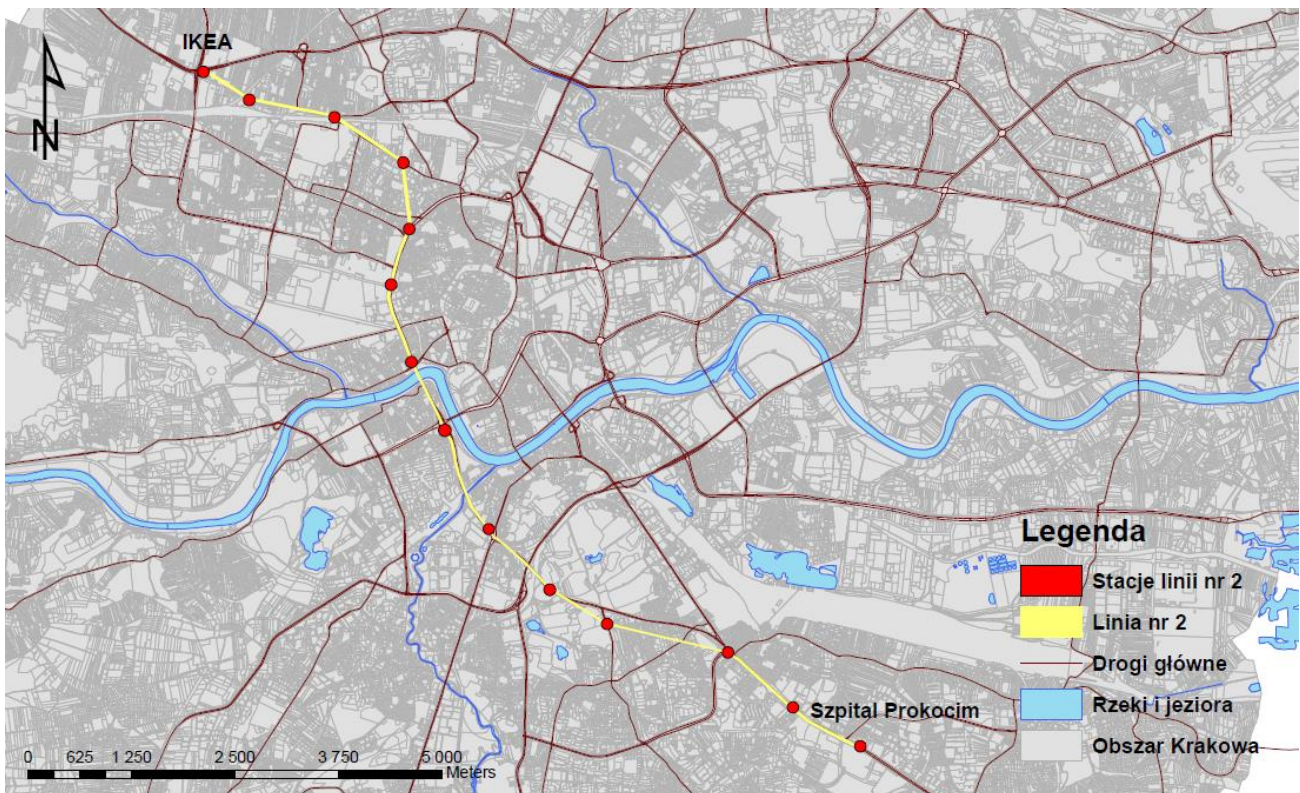
Rysunek 9 Mapa przedstawiająca zaprojektowaną linię nr 1 wraz ze stacjami metra.

Linia nr 2, poniżej przedstawiono atrybuty linii metra (Tabela 3) oraz przebieg projektowanej linii na mapie Krakowa (Rysunek 10)

Tabela 3 Tabela przedstawiająca atrybuty projektowanej linii nr 2

Nazwa linii metra	Linia nr 2
Stacje początkowe i końcowe	Początek: IKEA(Prądnik Biały) Koniec: Szpital Prokocim (Bieżanów- Prokocim)
Długość linii [km]	12 800m
Długość przebiegu pod obszarami wyznaczonymi w procesie analizy	9 200m
Długość przebiegu na powierzchni (teren wyznaczony w procesie analizy) wraz z obszarami wyznaczonymi pod budowę mostów	Okolo 1 050m
Długość przebiegu linii metra pod terenami zabudowanymi	Okolo 2550m
Procent całej trasy jaką stanowi trasa uzyskana dzięki analizie w programie	80%
Średnia odległość między stacjami	985m

Ilość potrzebnych mostów	2 (rzeki Wisła i Wilga)
Ilość stacji	14
Zaprojektowane stacje metra (nazwy)	<ol style="list-style-type: none"> 1. IKEA 2. Radzikowskiego 3. Wybickiego 4. Wrocławska 5. Plac Inwalidów 6. AGH 7. Jubilat 8. Centrum Kongresowe ICE 9. Rondo Matecznego 10. Bonarka 11. Sławka 12. Nowosądecka 13. Wielicka 14. Szpital Prokocim

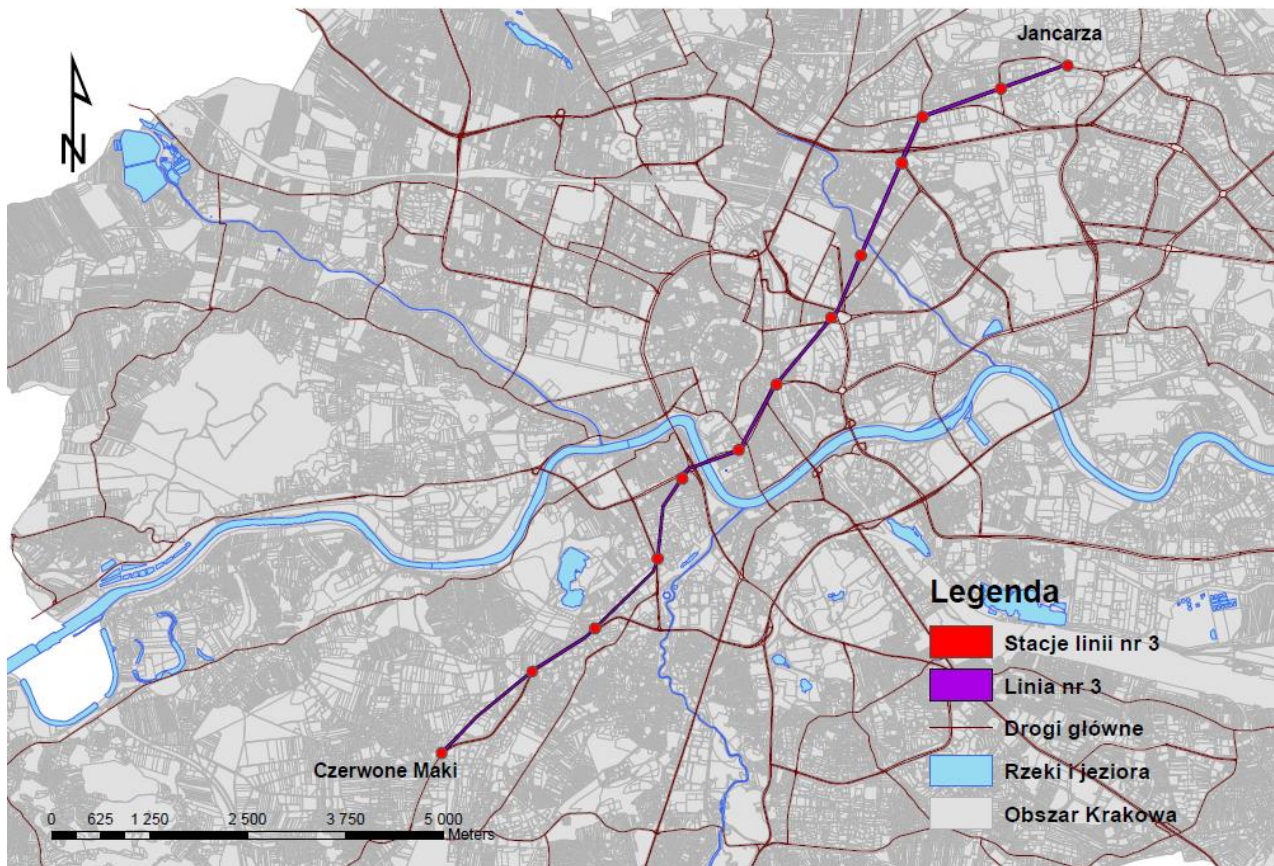


Rysunek 10 Mapa przedstawiająca zaprojektowaną linię nr 2 wraz ze stacjami metra.

Linia nr 3, poniżej przedstawiono atrybuty linii metra (Tabela 4) oraz przebieg projektowanej linii na mapie Krakowa (Rysunek 11)

Tabela 4 Tabela przedstawiająca atrybuty projektowanej linii nr 3.

Nazwa linii metra	Linia nr 3
Stacje początkowe i końcowe	Początek: ul. Jancarza (Mistrzejowice) Koniec: Czerwone Maki (Dębniki)
Długość linii [km]	12 500km
Długość przebiegu pod obszarami wyznaczonymi w procesie analizy	4110m
Długość przebiegu na powierzchni (teren wyznaczony w procesie analizy)	Okolo 2600m
Długość przebiegu linii metra pod terenami zabudowanymi	Okolo 5 800m
Procent całej trasy jaką stanowi trasa uzyskana dzięki analizie w programie	54%
Średnia odległość między stacjami	1042m
Ilość potrzebnych mostów	2 (rzeki Wisła i Prądnik)
Ilość stacji	13
Zaprojektowane stacje metra (nazwy)	<ol style="list-style-type: none"> 1. Jancarza 2. Bohomolca 3. Rondo Barei 4. Młyńska 5. Brodowicza 6. Rondo Mogilskie 7. Grzegórzecka 8. Dietla/Wawel 9. Centrum Kongresowe ICE 10. Kapelanka 11. Grota-Roweckiego 12. Bobrzyńskiego 13. Czerwone Maki



Rysunek 11 Mapa przedstawiająca zaprojektowaną linię nr 3 wraz ze stacjami metra.

5. Ankieta i wizualizacja danych w aplikacji M.App Studio

Ankieta na temat podróżowania komunikacją miejską w Krakowie została przeprowadzona m.in. na potrzeby potwierdzenia lub zaprzeczenia tezy, czy budowa metra w Krakowie jest konieczna. Wyniki ankiety oraz projekt wizualny przebiegu metra ukazano za pomocą aplikacji M.App Studio. Sposób przedstawienia danych z wykorzystaniem interaktywnych map jest klarowny i skierowany dla każdego, dzięki jasnemu przekazowi oraz łatwości obsługi.

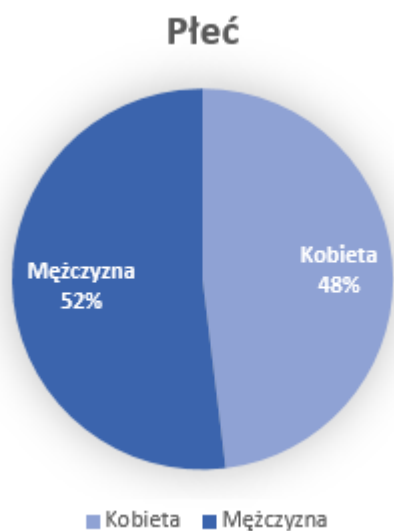
5.1 Metodyka

Opracowano ankietę dotyczącą podróżowania komunikacją miejską w Krakowie. Zebrano 1188 próbek danych, które wykorzystano następnie w M.App Studio do wizualizowania zebranych danych i tworzenia interaktywnych map udostępnionych w sieci. Mapy dotyczą zainteresowania mieszkańców Krakowa pomysłem budowy metra, oraz obrazują m.in. natężenie ruchu w danych godzinach. Mapy również przedstawiają przebieg linii metra i lokalizacje poszczególnych stacji, o których dodatkowo po kliknięciu można przeczytać informacje.

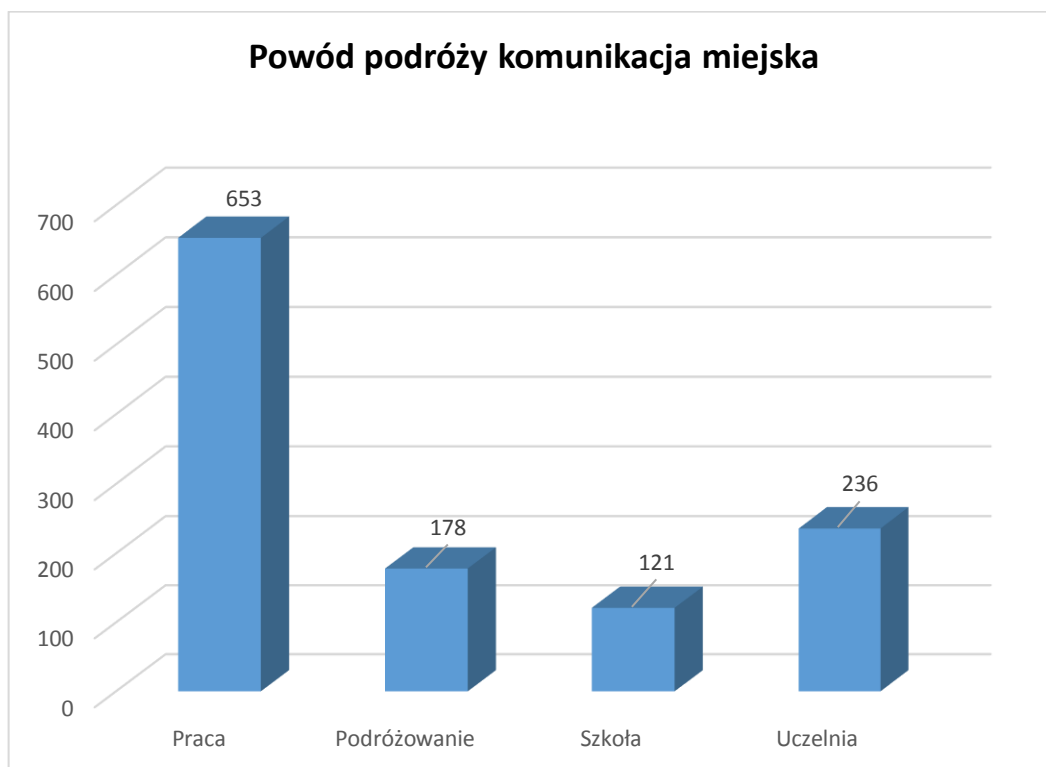
5.1.1 Ankieta jako narzędzie badawcze

Praktyka badawcza obejmuje ogromny zakres powiązanych tematów technologicznych i naukowych. Aby zdobyć odpowiednie, wymagane informacje często stosuje się ankiety, które pozwalają na dalszą analizę dzięki zebranych próbkom danych. W porównaniu do np. spisu ludności, gdzie badani są wszyscy członkowie populacji, ankieta przeprowadzana jest tylko na populacji, która nas interesuje. Celem jest zebranie jak największej próbek danych, które w efekcie rzutują na wiarygodność dla całej docelowej populacji.

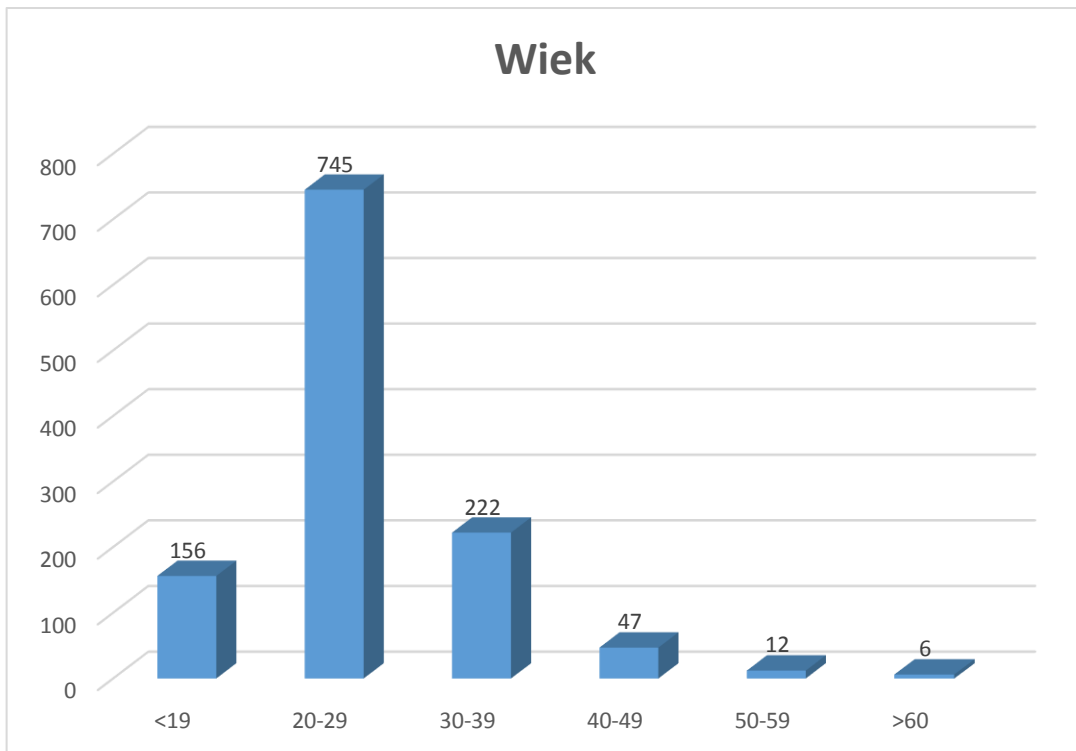
Po publikacji ankiety w sieci zebrano 1188 próbek danych. Każda osoba odpowiedziała na 7 pytań dotyczących podróżowania komunikacją miejską w Krakowie. Dane pozyskane z ankiety posłużyły jako dane wejściowe do wizualizacji w aplikacji M.App Studio. Dane które otrzymano to m.in. informacja o płci ankietowanych (Rysunek 12), charakterze podróży (Rysunek 13), o wieku (Rysunek 14) rejonie z którego mieszkaniac zaczyna podróż komunikacją miejską (Rysunek 15) oraz godzinach podróżowania. Bardzo ważną dla projektu informacją było wyrażenie zdania mieszkańców na temat potrzeby budowy metra. Otrzymane dane zaprezentowano poniżej za pomocą wykresów i diagramów.



Rysunek 12 Diagram obrazujący procentowy stosunek płci ankietowanych.

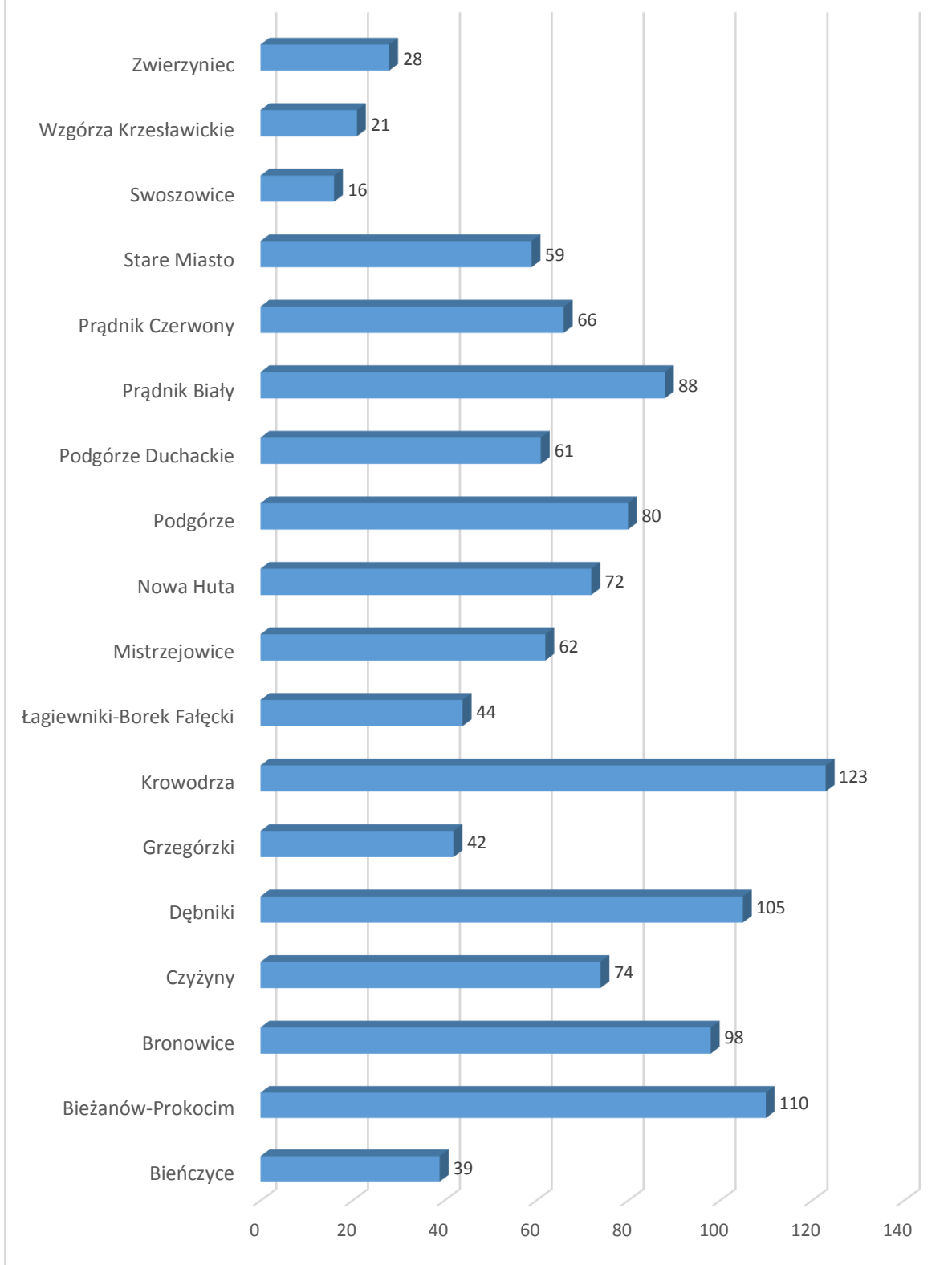


Rysunek 13 Wykres przedstawiający charakter podróży ankietowanych.



Rysunek 14 Wykres przedstawiający wiek ankietowanych.

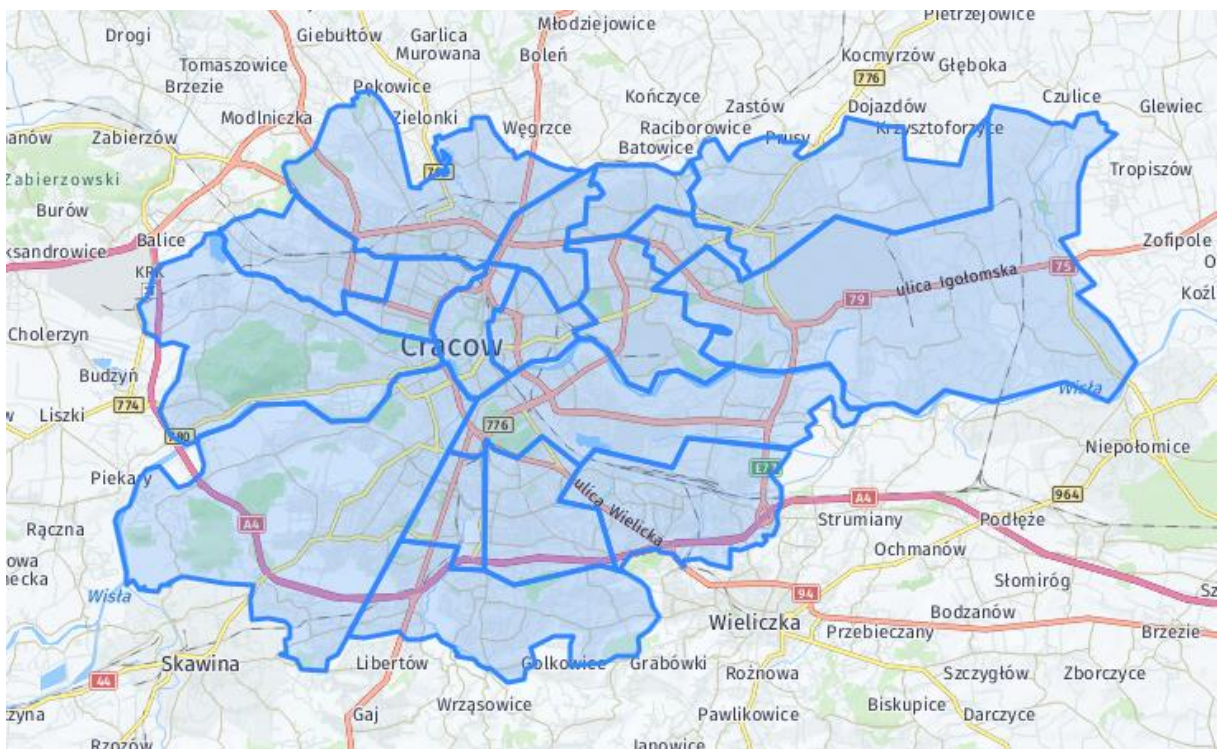
Dzielnice z których ankietowani zaczynają podróż



Rysunek 15 Wykres przedstawiający dzielnice z których ankietowani zaczynają podróż komunikacją miejską.

5.1.2 Wizualizacja danych w aplikacji M.App Studio firmy Hexagon

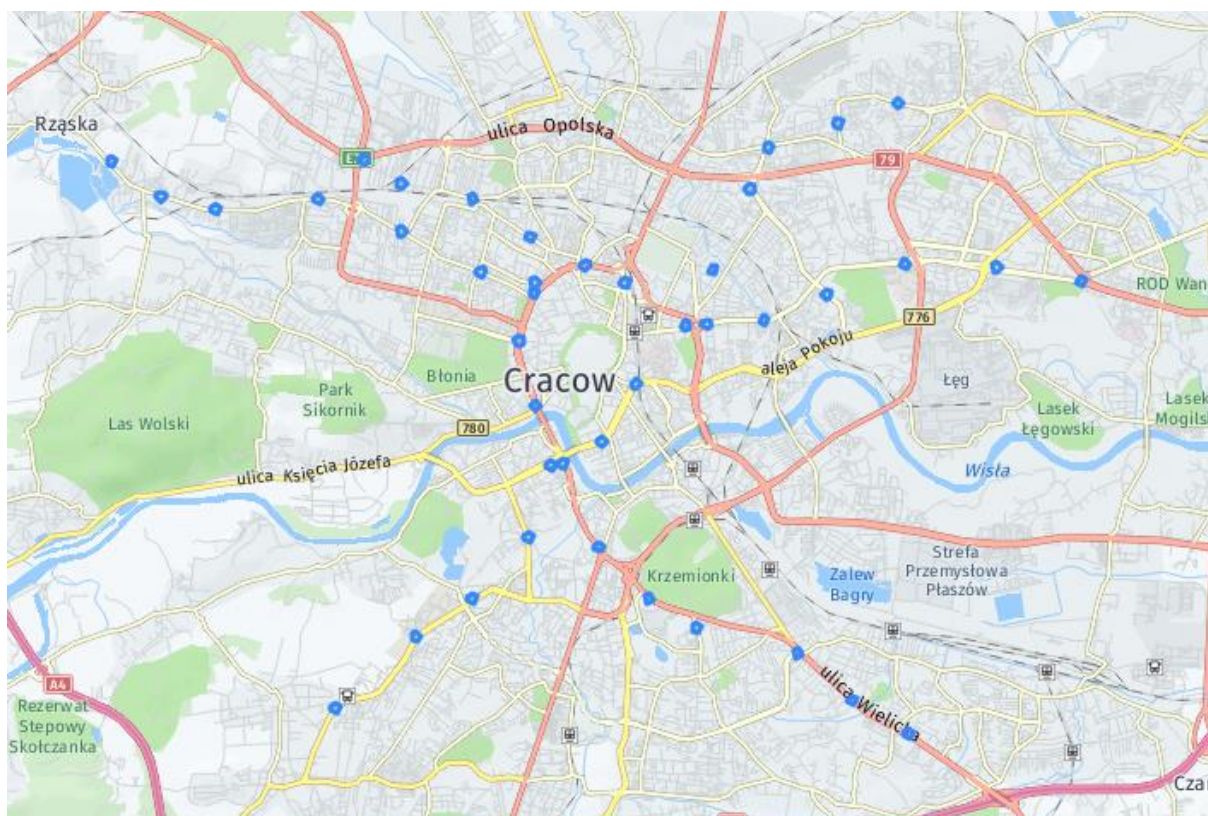
Pozyskane z ankiety dane zostały zapisane w formacie .csv oraz wgrane do aplikacji M.App Studio. Umożliwiło to wykorzystanie ich do tworzenia różnych wykresów mających za zadanie wizualizację danych dotyczących zainteresowania budową metra w Krakowie. Oprócz pliku w formacie .csv, który stanowił źródło danych dla aplikacji, w programie ArcGIS stworzono pliki typu shapefile zawierające geometrię dzielnic Krakowa (Rysunek 16), proponowane przebiegi linii metra (Rysunek 17) oraz punkty symbolizujące stacje metra (Rysunek 18). Wizualizacja danych w aplikacji M.App Studio w całości została wykonana w języku angielskim.



Rysunek 16 Mapa z wgranym plikiem shapefile zawierającym geometrie dzielnic Krakowa.

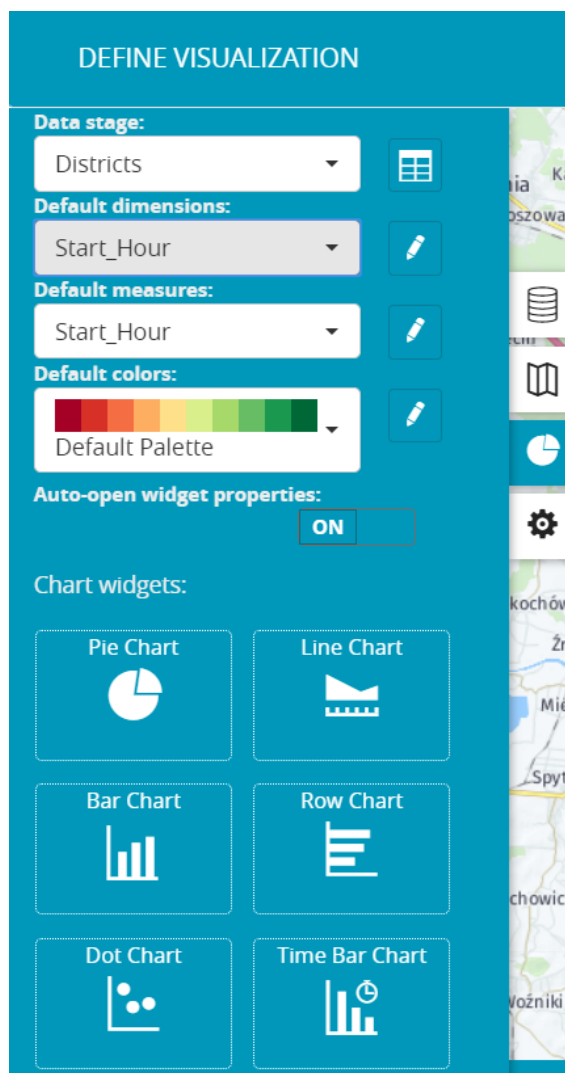


Rysunek 17 Mapa z wgranym plikiem shapefile zawierającym geometrie projektowanych przebiegów linii metra w Krakowie.



Rysunek 18 Mapa z wgranym plikiem shapefile zawierającym geometrie projektowanych stacji metra w Krakowie.

Aplikacja M.App Studio posiada wiele narzędzi służących do tworzenia oraz modyfikowania wykresów (Rysunek 19). W zależności od typu posiadanych danych można tworzyć wykresy ilościowe lub jakościowe. Wykresy ilościowe służą do zobrazowania wartości lub jej krotności, natomiast wykresy jakościowe pozwalają na przedstawienie sposobu klasyfikacji oraz wydzielenie zbiorów.



Rysunek 19 Panel zarządzania wykresami.

W M.App Studio stworzono dwie mapy. Pierwszą z nich jest mapa, której głównym celem jest przedstawienie ilości osób podróżujących komunikacją miejską w danym okresie czasu na terenie dzielnic Krakowa. W tym celu wykorzystano geometrię dzielnic Krakowa oraz dane z ankiety. Do drugiej mapy wgrano geometrię proponowanych przebiegów linii metra, punkty symbolizujące stacje metra a także stworzony od podstaw plik .csv zawierający niezbędne dane. Mapa wykorzystuje tooltipy do przekazania podstawowych informacji dotyczących m.in numeru linii, lokalizacji stacji (zdjęcie otoczenia) czy przynależności przystanku do konkretnej linii.

Tworzenie wykresów w aplikacji M.App Studio polegało na dobraniu odpowiedniej funkcji odpowiadającej za proces filtracji danych (Rysunek 20).

TYPE:

Count
 Sum
 Average
 Percentage
 Difference
 Percentage of total
 Nominal
 Custom [?](#)

Average value of the Necessary attribute computed from all elements in the particular group

Weighted [?](#)

MEASURE NAME:

Necessary at Districts

TYPE:

Count
 Sum
 Average
 Percentage
 Difference
 Percentage of total
 Nominal
 Custom [?](#)

Number of elements in the particular group

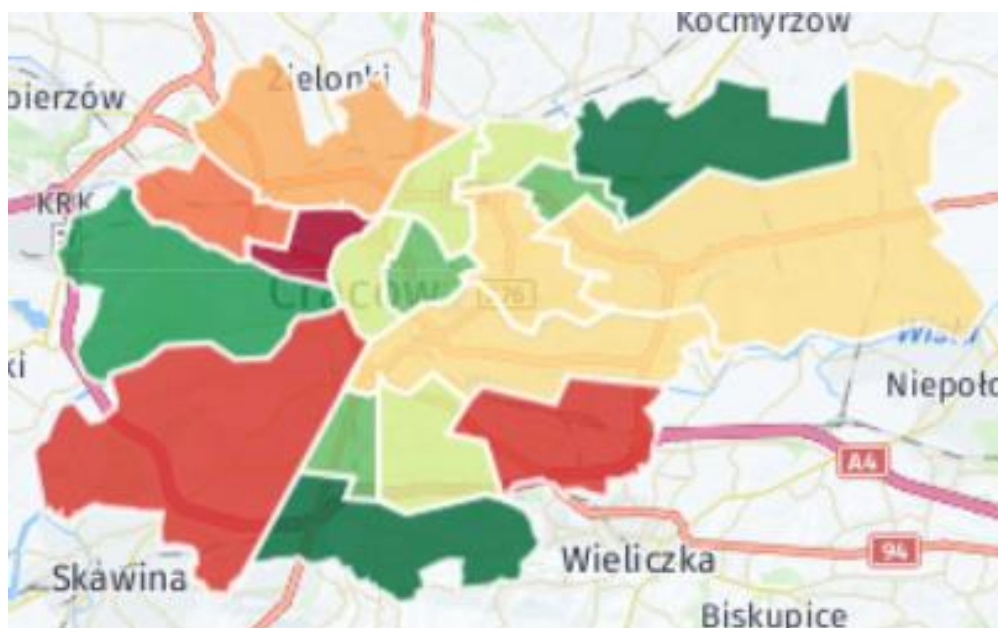
MEASURE NAME:

Start_Hour

Rysunek 20 Okno tworzenia funkcji do filtracji danych.

Funkcjami, które wykorzystano do tworzenia map są “Count”, która zlicza ilość wystąpień w danej grupie oraz “Average” która na podstawie grupy elementów wylicza średnią z ich wartości. W aplikacji stworzono wykresy:

- kartogram, prezentujący ilość podróżujących w danym okresie czasu w dzielnicach (Rysunek 21).



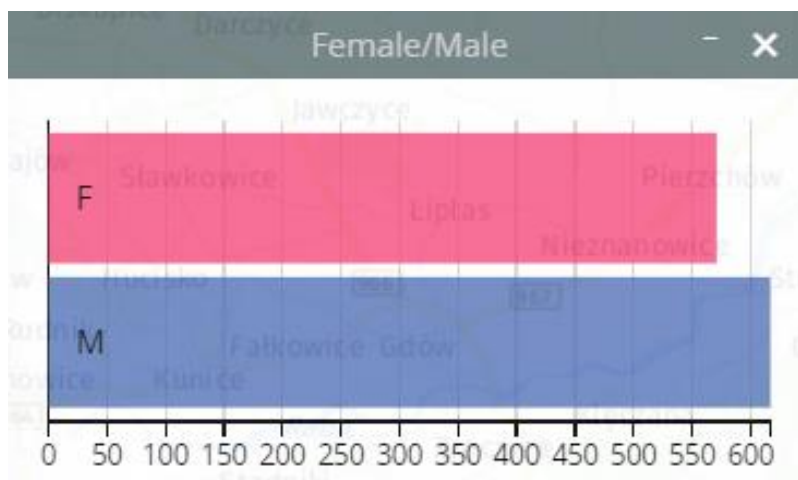
Rysunek 21 Kartogram, prezentujący ilość podróżujących w danym okresie czasu w dzielnicach.

- kołowy, w tym wykres przedstawiający opinię respondentów na temat potrzeby budowy metra w Krakowie (Rysunek 22).



Rysunek 22 Wykres kołowy przedstawiający opinię respondentów na temat potrzeby budowy metra w Krakowie.

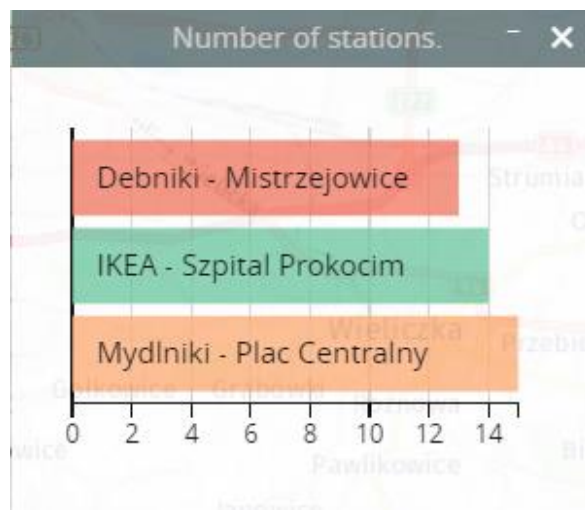
- słupkowe (poziome). w tym wykres uwzględniający płeć ankietowanych (Rysunek 23), wykres przedstawiający średnią z głosów ankietowanych dotyczący konieczności budowy metra w Krakowie wraz z podziałem na dzielnice (Rysunek 24) oraz wykres przedstawiający ilość przystanków na danej trasie linii metra (Rysunek 25).



Rysunek 23 Wykres uwzględniający płeć ankietowanych.

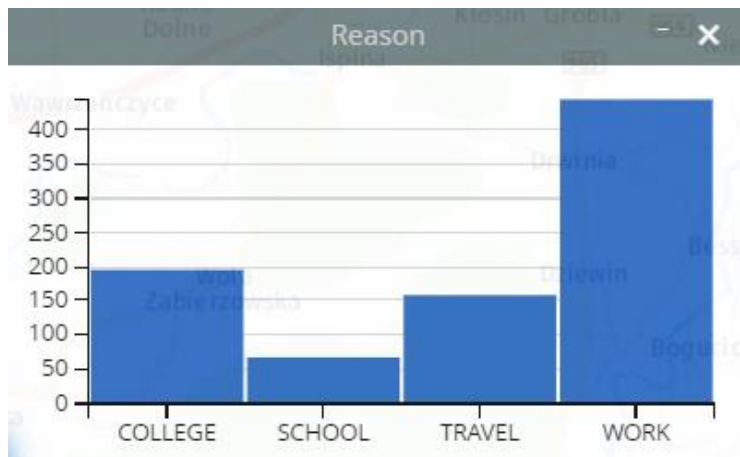


Rysunek 24 Wykres przedstawiający średnią z głosów ankietowanych dotyczący konieczności budowy metra w Krakowie wraz z podziałem na dzielnice.



Rysunek 25 Wykres przedstawiający ilość stacji każdej projektowanej linii metra.

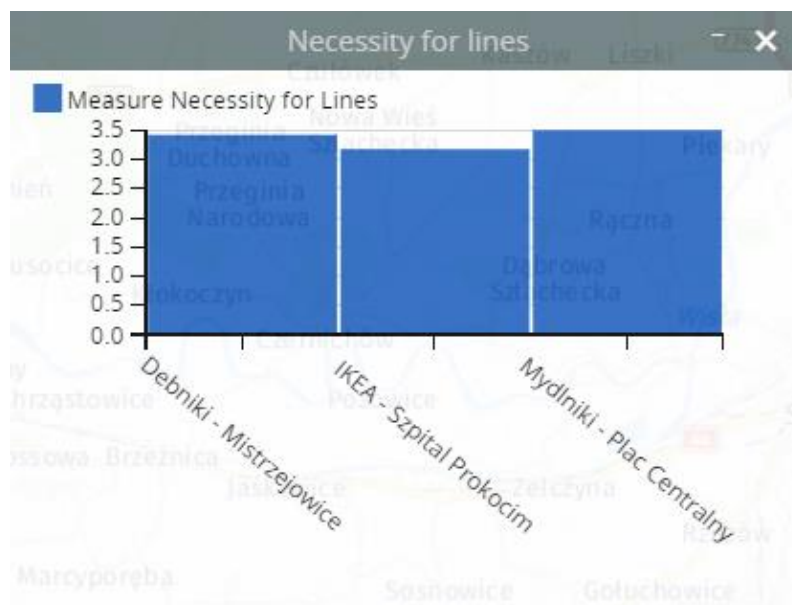
- słupkowe (pionowe), w tym wykres prezentujący powód korzystania z transportu publicznego (Rysunek 26), interaktywny wykres czasowy, dzięki któremu możliwe jest zobaczenie ilości podróżujących w danym okresie czasu w trakcie doby (Rysunek 27) oraz wykres przedstawiający średnią z wyboru ankietowanych dotyczącego jednego z trzech zaprezentowanych przebiegów linii metra jako najpotrzebniejszego w Krakowie (Rysunek 28).



Rysunek 26 Wykres prezentujący powód korzystania z transportu publicznego.

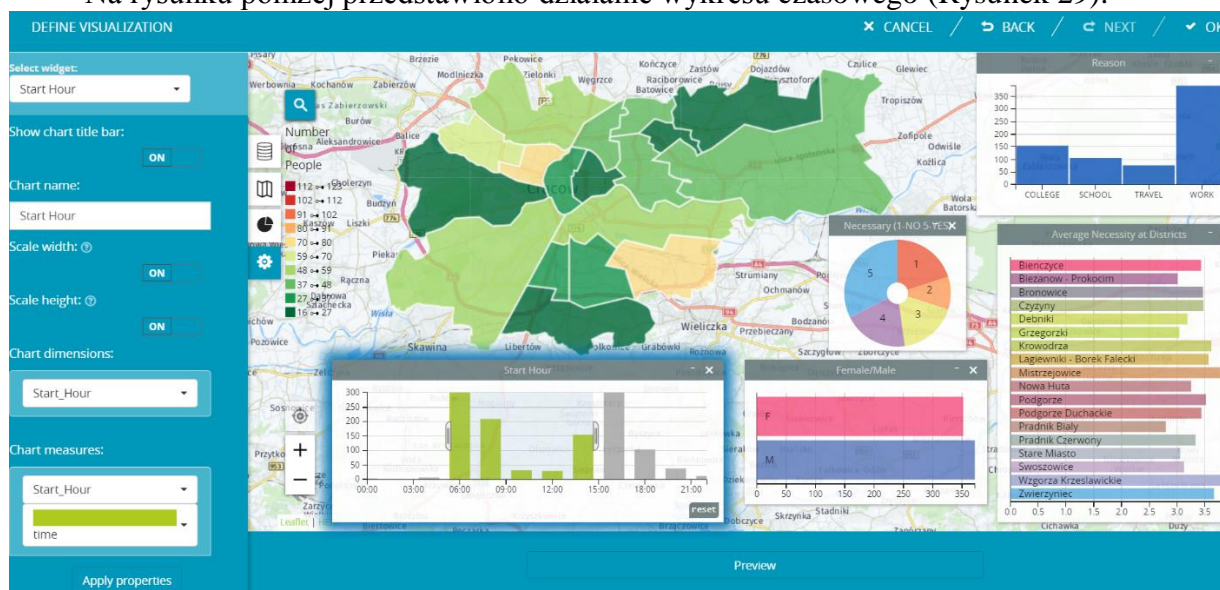


Rysunek 27 Interaktywny wykres czasowy.



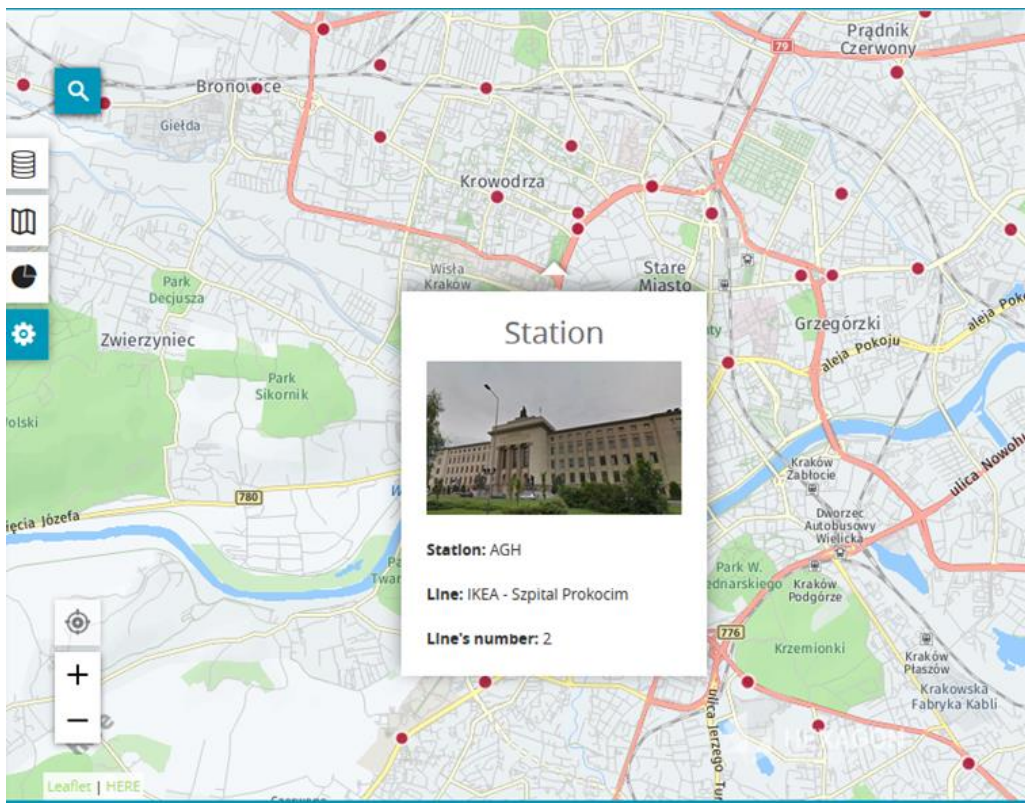
Rysunek 28 Wykres przedstawiający wybór ankietowanych.

Na rysunku poniżej przedstawiono działanie wykresu czasowego (Rysunek 29).

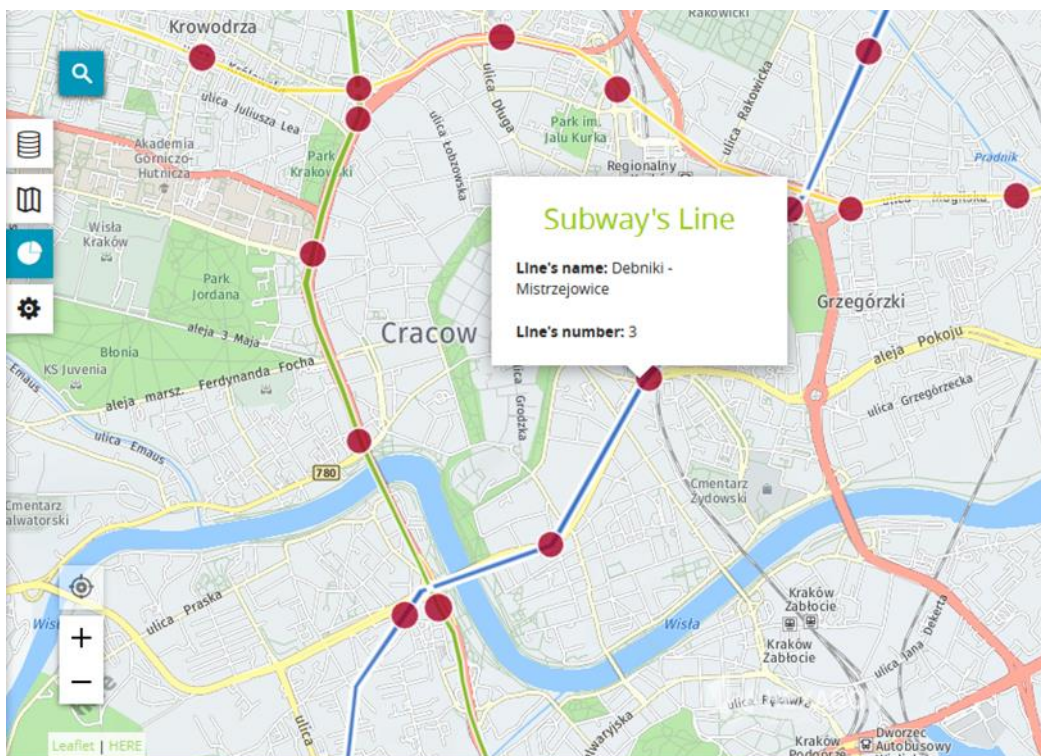


Rysunek 29 Przedstawienie działania wykresu czasowego.

Mapy wykorzystują również tooltipy, czyli graficzne elementy wyświetlane po najechaniu kursorem myszki. Zostały one zastosowane do opatrzenia informacjami projektowanych przystanków (Rysunek 30), oraz linii (Rysunek 31). Do ich stworzenia użyto języka HTML. Tooltipy zawierają takie informacje jak nazwa stacji, numer linii, nazwa linii oraz jest dołączone zdjęcie przedstawiające otoczenie projektowanej stacji lub charakterystyczny obiekt jak na przykład zdjęcie głównego budynku Akademii Górniczo-Hutniczej.



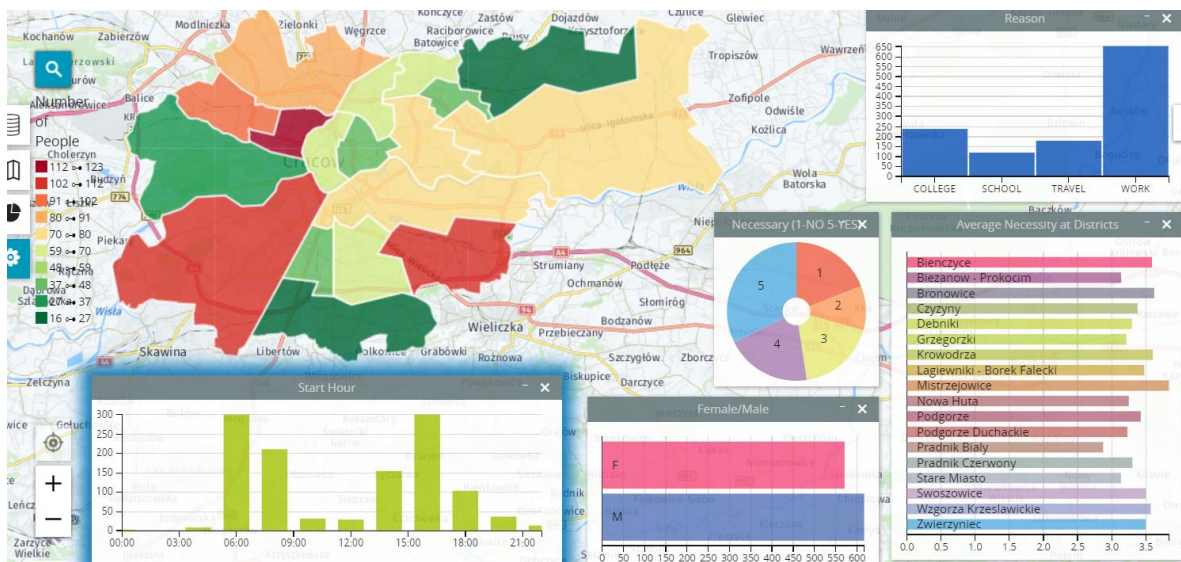
Rysunek 30 Tooltip zawierający informacje dotyczące stacji "AGH".



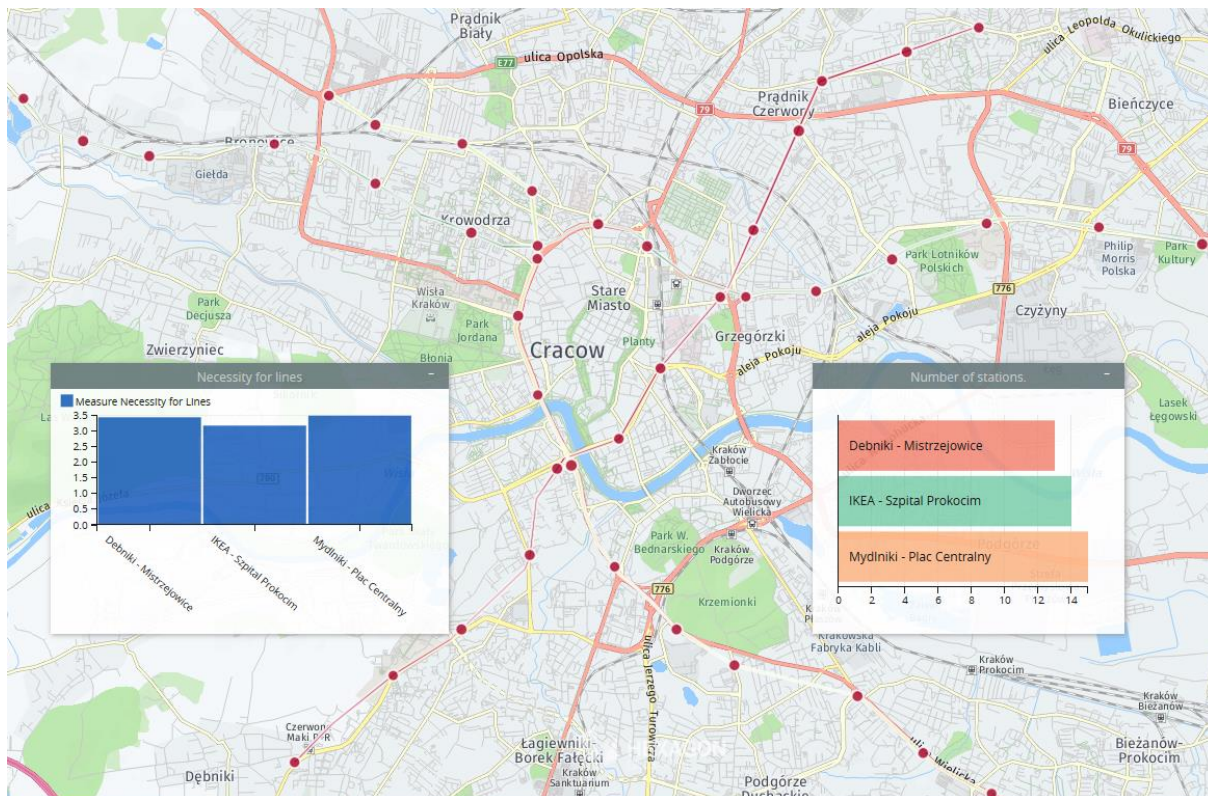
Rysunek 31 Tooltip zawierający informacje na temat linii metra nr 3.

5.2 Wyniki

Efektom pracy w aplikacji M.App Studio są dwie mapy przedstawiające w przyjazny dla oka sposób dane pozyskane z ankiety. Obydwie mapy zostały stworzone na tym samym podkładzie mapowym, który swoim zakresem obejmuje miasto Kraków i jego okolice. Mapa nr 1 jest oparta na geometrii dzielnic Krakowa oraz danych, które uzyskano poprzez ankietę (Rysunek 32). Mapa nr 2 zawiera geometrie projektowanych linii metra oraz stacji. Do przedstawienia informacji zostały użyte głównie interaktywne tooltipy, zawierające informacje o liniach i stacjach oraz zdjęcia (Rysunek 33). Całość tworzy spójną wizualizację przedstawiającą zainteresowanie ankietowanych budową metra w Krakowie, oraz dzięki możliwościom aplikacji firmy Hexagon, pozwala na interaktywny wpływ użytkownika na zakres wyświetlanych danych. Mapy, będące częścią stworzonej przez nas aplikacji w ramach grantu firmy Hexagon, zostały udostępnione w sieci. Oprócz aplikacji stworzono również tutorial, będący podstawą do nauki korzystania z aplikacji oraz opisem wykonanych przez nas prac.



Rysunek 32 Mapa nr 1, utworzona w aplikacji M.App Studio.



Rysunek 33 Mapa nr 2, utworzona w aplikacji M.App Studio.

6. Stworzenie modelu 3D mostu w programie SketchUp

W programie SketchUp podjęto próbę stworzenia trójwymiarowego modelu mostu pozwalającego projektowanej linii metra na przecięcie Wisły. Most ten jest częścią zaprojektowanej w rozdziale 4.3 linii metra oraz stanowi bardzo ważny odcinek transportowy łączący północną część miasta z południową. Obiekt został odpowiednio zwymiarowany sugerując się ilością wolnej przestrzeni w miejscu przecięcia przez linie numer 2 rzeki, pomiarami dokonanymi na stronie geoportal.gov.pl oraz średnimi rozmiarami pojazdów metra. Efektem prac jest gotowy model 3D mostu z tunelem metra, który został umieszczony w wirtualnej rzeczywistości dzięki wykorzystaniu narzędzi oferowanych przez aplikację Google Earth.

6.1 Metodyka

Praca w oprogramowaniu CAD dzieliła się na trzy etapy. Pierwszy z nich zakładał narysowanie elementów składających się na całą konstrukcję mostu wraz z tunelem. Kolejno nastąpiło złożenie budowli w całość oraz nałożenie tekstur. Ostatni etap pracy związany był z wyświetleniem stworzonego modelu w aplikacji Google Earth. Większość prac wykonano w programie SketchUp, natomiast gotowy model obiektu wyniesiono w rzeczywistość przy użyciu wcześniej wspomnianej aplikacji. Przed rozpoczęciem modelowania koniecznym było ustalenie kształtu oraz wymiarów projektowanej budowli.

6.1.1 Projektowanie, wymiarowanie i modelowanie 3D obiektu w SketchUp

W programie SketchUp zaprojektowano, narysowano i zwymiarowano elementy składające się na konstrukcję przejazdu metra nad Wisłą. Wśród elementów znajdują się:

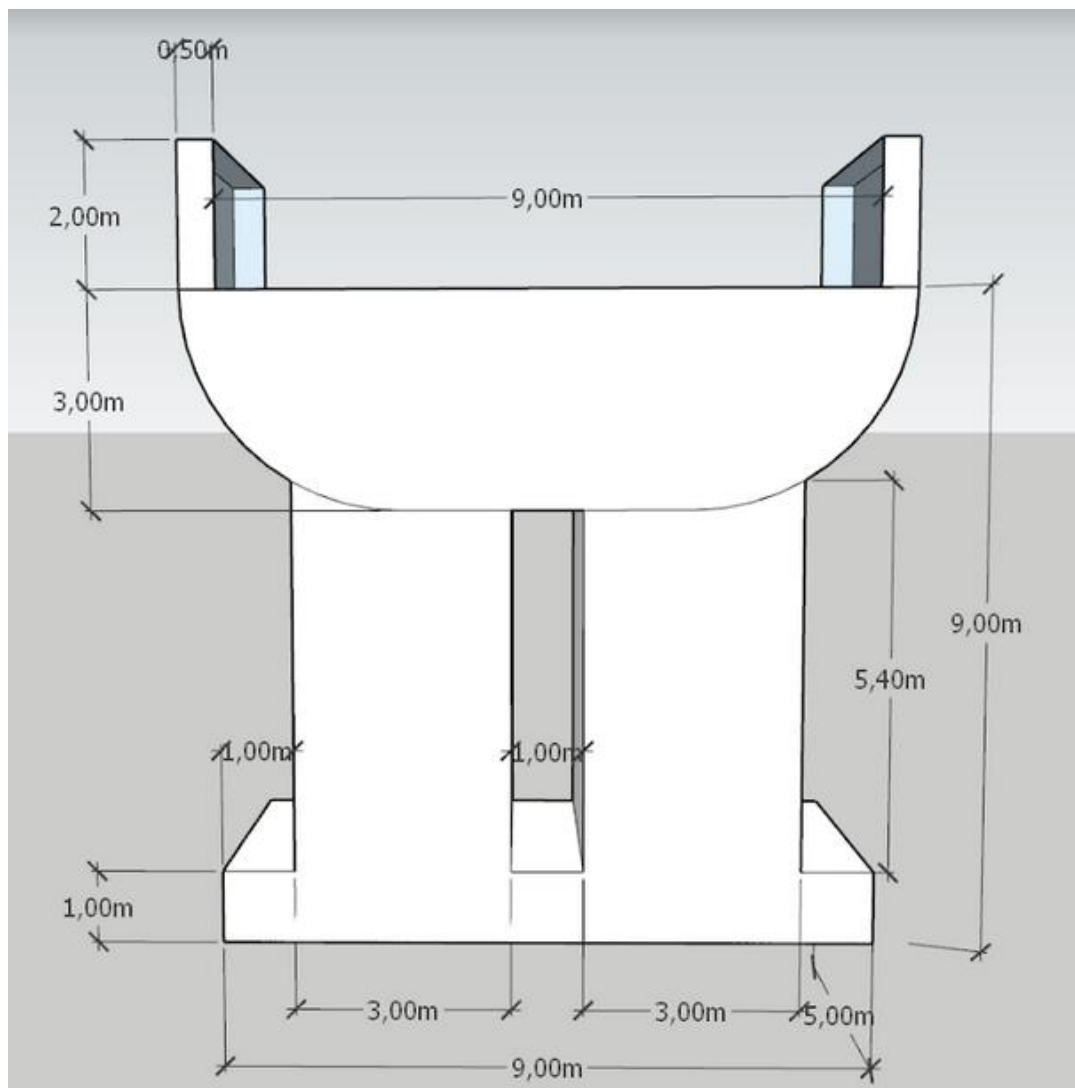
- Podpora mostu (Rysunek 34)
- Podstawa konstrukcji (Rysunek 35, Rysunek 36)
- Tuba stanowiąca tunel dla przejazdu metra (Rysunek 37, Rysunek 38)

Założenia dotyczące wymiarów projektowanych elementów przedstawiono w tabeli 5 (Tabela 5).

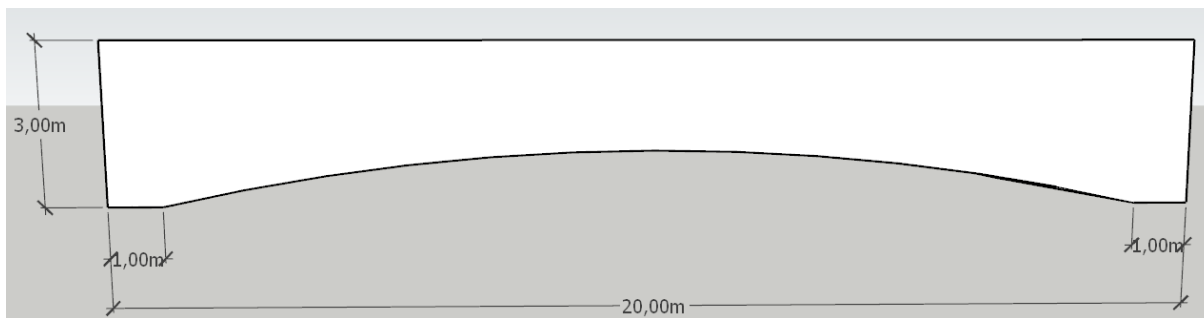
Tabela 5 Tabela przedstawiająca podstawowe wymiary konstrukcji.

Długość konstrukcji	160m
Szerokość konstrukcji	10m
Wysokość konstrukcji	15m
Wysokość tunelu	6m
Szerokość tunelu	9m
Szerokość toru jazdy	2,5m
Odstęp pomiędzy torami jazdy	1,5m
Odstęp pomiędzy szynami a ścianą tunelu	1,25m
Wysokość podpory	9m

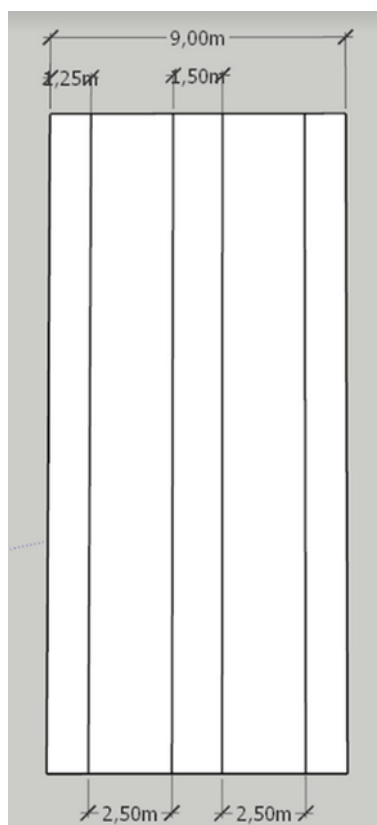
Szerokość podpory	9m
Odstęp pomiędzy środkami kolejnych podpór	38,75m
Średnia głębokość Wisły	4m



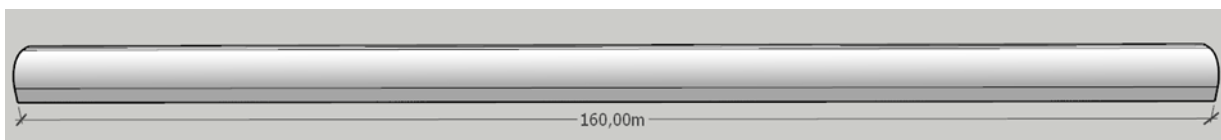
Rysunek 34 Rysunek przedstawiający wymodelowaną i zwymiarowaną podporę konstrukcji.



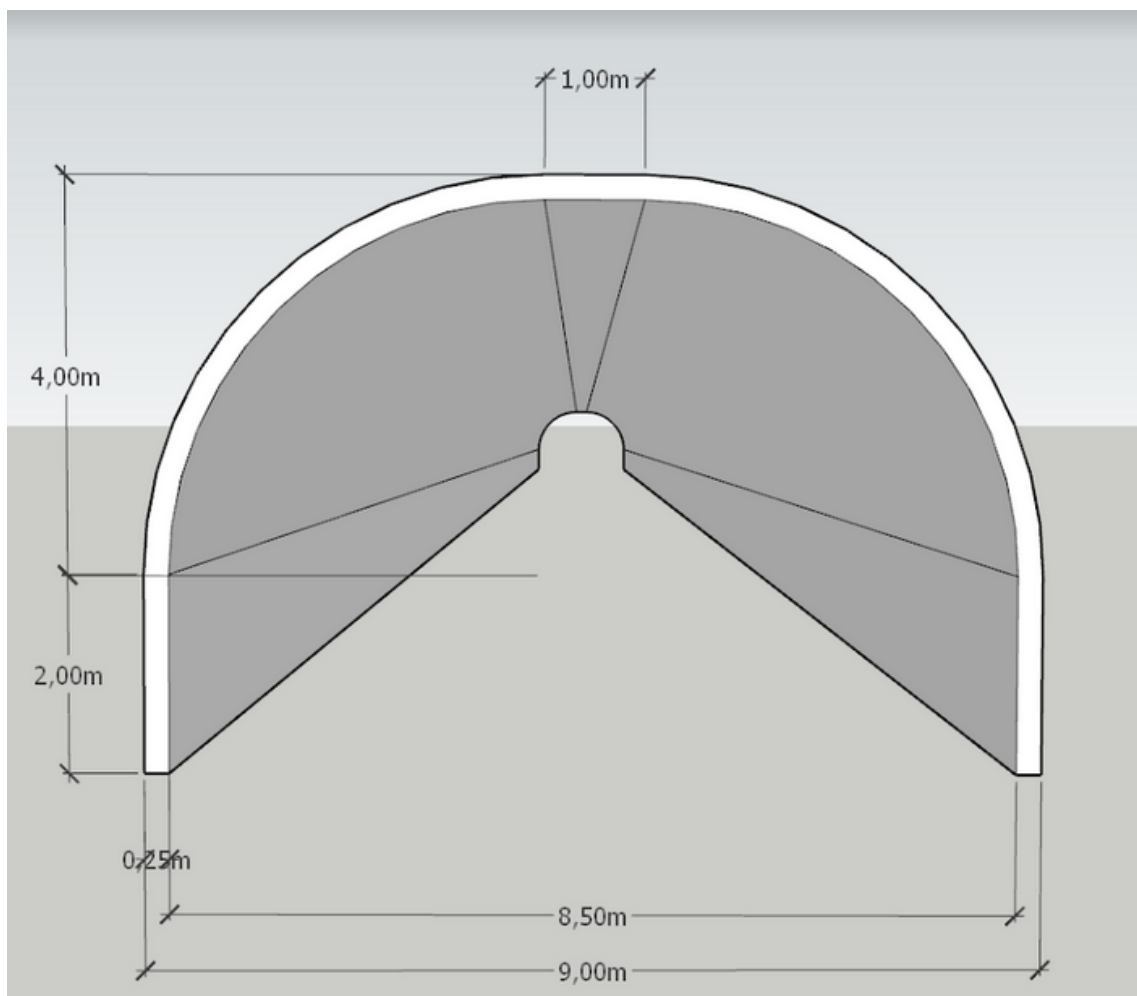
Rysunek 35 Rysunek przedstawiający wymodelowaną i zwymiarowaną podstawę konstrukcji (Widok z boku).



Rysunek 36 Rysunek przedstawiający wymodelowaną i zwymiarowaną podstawę konstrukcji (Widok z góry).

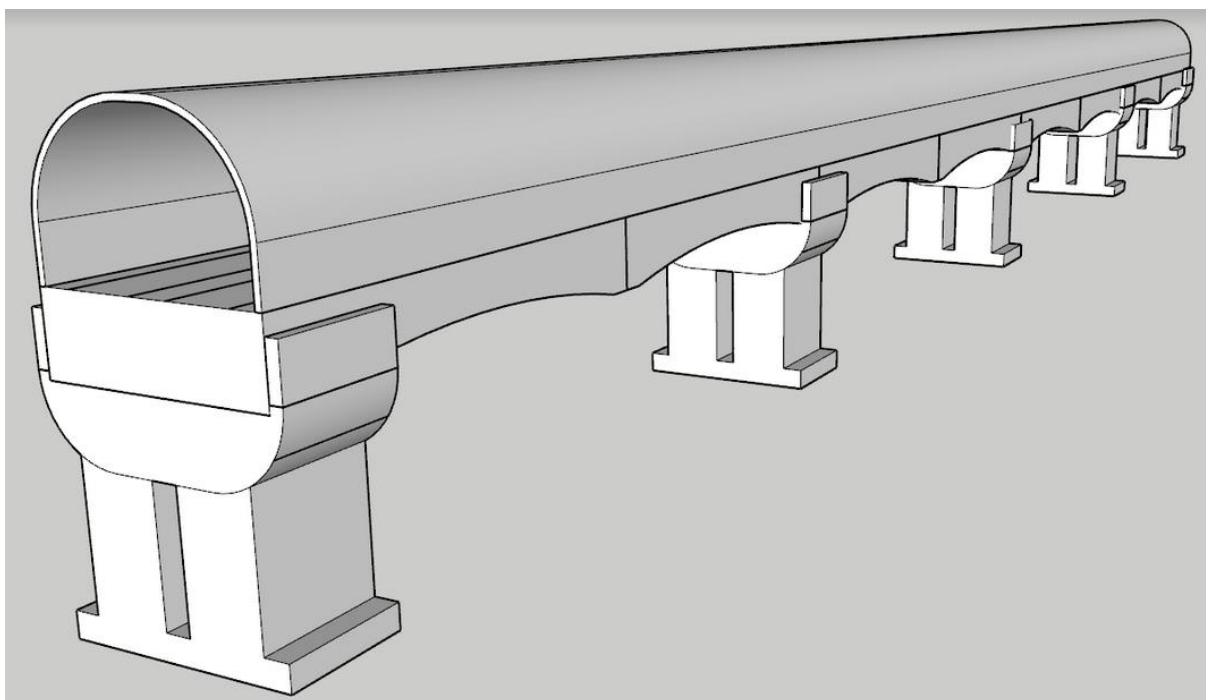


Rysunek 37 Rysunek przedstawiający wymodelowaną i zwymiarowaną tubę tunelu (Widok z boku).

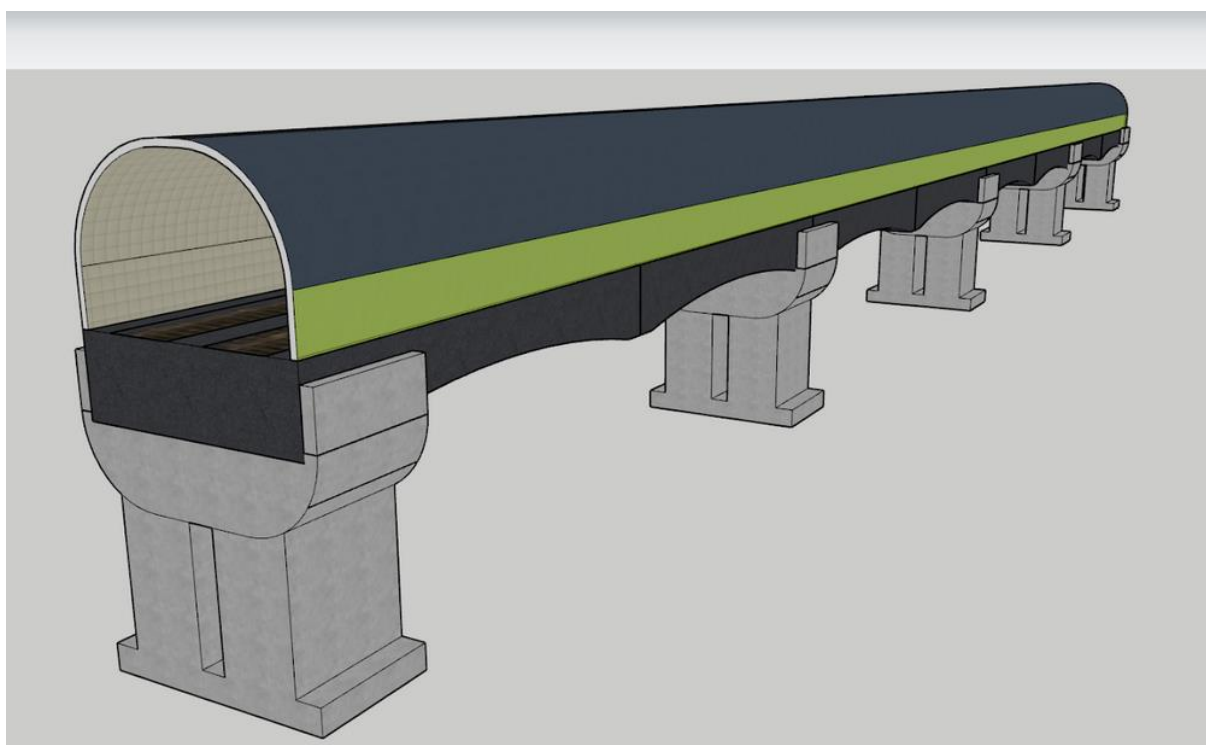


Rysunek 38 Rysunek przedstawiający wymodelowaną i zwymiarowaną tubę tunelu (Widok od frontu).

Wszystkie elementy zostały wymodelowane w przestrzeni trójwymiarowej dzięki czemu można było je oglądać z różnych perspektyw. Po zakończeniu tego etapu pracy wszystkie części zostały złączone w jedną konstrukcję (Rysunek 39) oraz nadano im tekstury (Rysunek 40). Przy nadawaniu tekstur kierowano się zarówno nowoczesnymi trendami w architekturze jak i podstawowymi barwami konstrukcyjnymi.



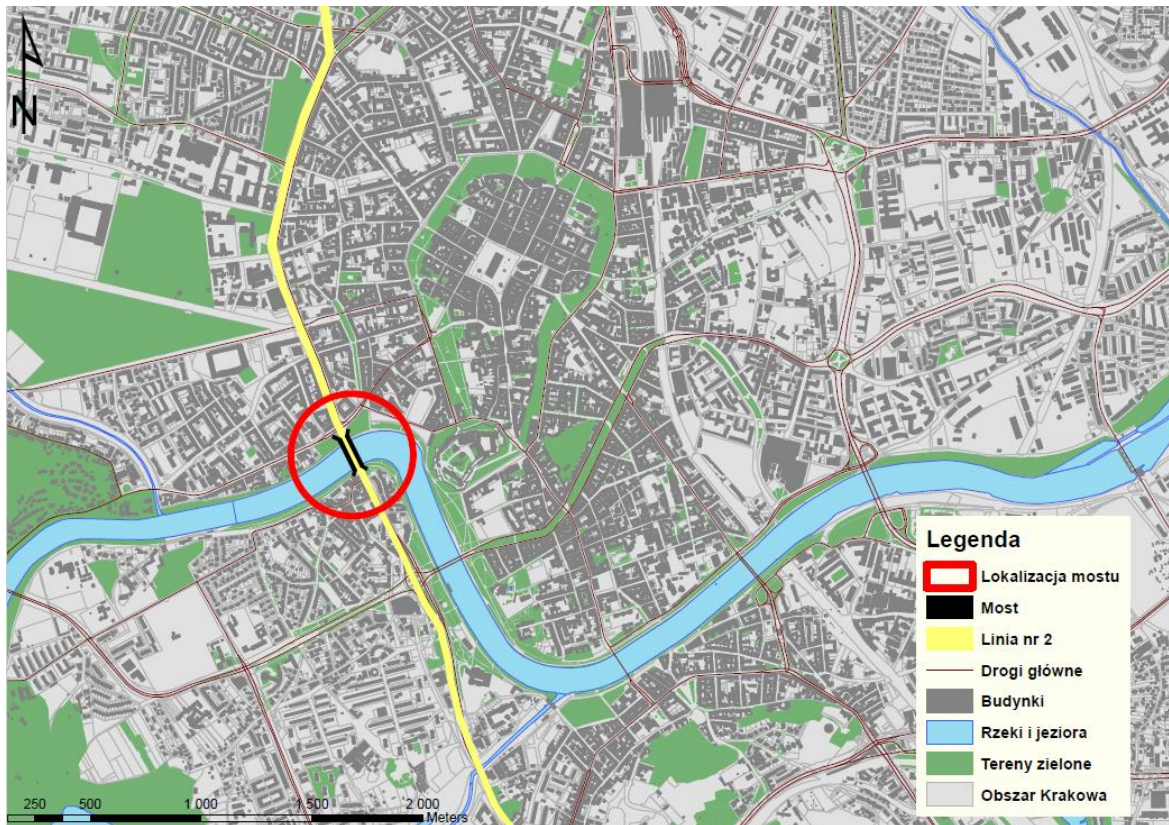
Rysunek 39 Rysunek przedstawiający wymodelowany obiekt 3D.



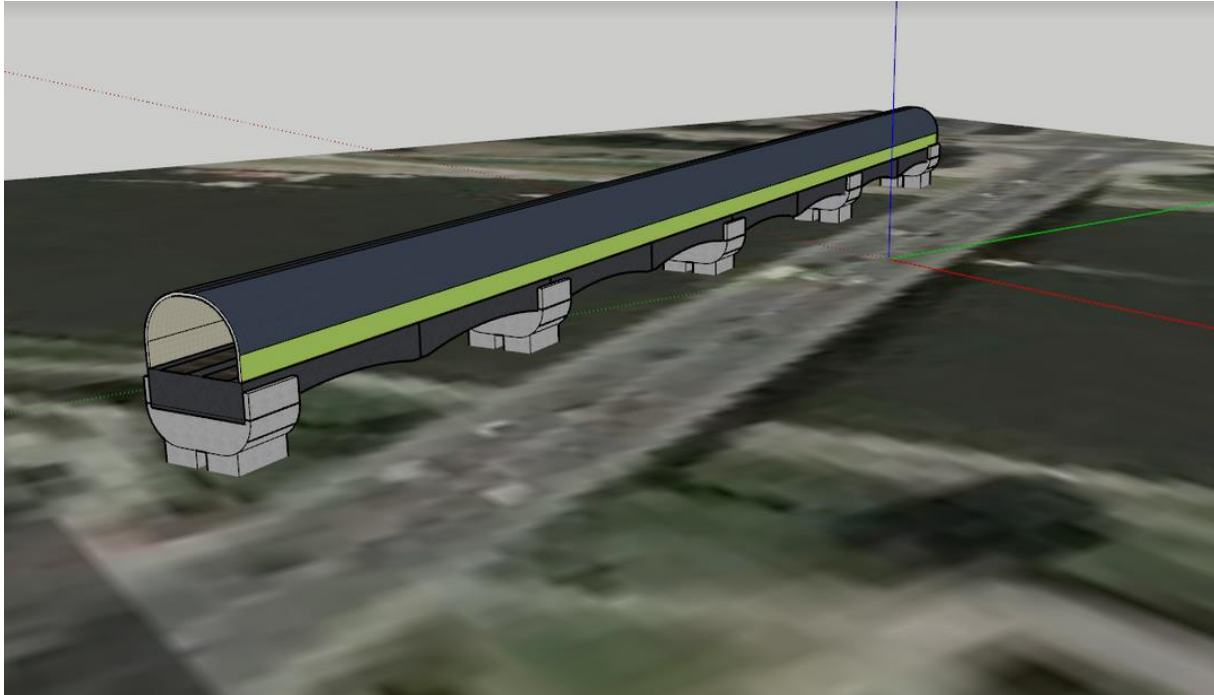
Rysunek 40 Rysunek przedstawiający wymodelowany obiekt 3D wraz nadanymi teksturami.

6.1.2 Wizualizacja modelu 3D w aplikacji Google Earth

Jako lokalizację obiektu wybrano miejsce, w którym zaprojektowana linia numer 2 przecina Wisłę. Jest to przestrzeń obok mostu Dębnickiego łączącego Stare Miasto i Zwierzyniec z Dębnikami (Rysunek 41). Aby poprawnie wyświetlić model 3D w aplikacji Google Earth koniecznym było nadanie modelowi georeferencji czyli odniesienia przestrzennego. Wykorzystano do tego podkład mapowy 2D będący częścią zasobów Open StreetMap (Rysunek 42).



Rysunek 41 Mapa przedstawiająca lokalizację projektowanego mostu z zaznaczonym przebiegiem linii metra.



Rysunek 42 Nadanie modelowi georeferencji w programie SketchUp.

6.2 Wyniki

Efektom prac w programie SketchUp oraz w aplikacji Google Earth jest trójwymiarowy model mostu wraz z tunelem stanowiący przejazd dla projektowanej linii metra nad rzeką Wisłą. Dzięki zastosowaniu narzędzi oferowanych w środowisku CAD udało się stworzyć konstrukcję wpasowującą się w otoczenie oraz będącą przykładem architektury nowoczesnej jaką niewątpliwie w przyszłości może stać się sieć metra w Krakowie.

Zaprezentowany w aplikacji Google Earth model (Rysunek 43) może być oglądany z różnej perspektywy (Rysunek 44) dzięki możliwości poruszania się w trójwymiarowej przestrzeni wirtualnej rzeczywistości.



Rysunek 43 Wizualizacja modelu 3D w aplikacji Google Earth.



Rysunek 44 Widok na model z różnych perspektyw.

7. Wnioski

Projektowanie sieci metra w mieście wiąże się z wieloetapowym planowaniem inwestycji. Jest to proces kosztowy i czasochłonny ale jednocześnie cel inwestycji ma mieć istotny wpływ na usprawnienie komunikacji miejskiej w mieście. Budowa tego typu infrastruktury jest konieczna aby sprostać coraz większym wymaganiom transportowym w rozwijającym się mieście. Obecna sytuacja komunikacyjna w godzinach szczytu w Krakowie pokazuje, że na powierzchni nie ma już zbyt wiele miejsca na tak poważne usprawnienia transportowe jakim byłaby gruntowna przebudowa istniejącej komunikacji. Wyniki naszych analiz oraz własne doświadczenia utwierdziły nas w przekonaniu, że obecny stan komunikacji publicznej w Krakowie mógłby zostać usprawniony poprzez budowę podziemnego miejskiego bezkolizyjnego transportu szynowego.

Podjęcie się budowy metra w Krakowie wymaga wielu analiz, wiele z nich zostało przez nas zrealizowanych m.in. badanie ukazujące zainteresowanie mieszkańców Krakowa taką inwestycją. Dzięki integracji wyników uzyskanych w programach wykorzystujących oprogramowanie GIS i CAD oraz interaktywnym wizualizacjom udało nam się osiągnąć zamierzony cel pracy inżynierskiej czyli prezentację narzędzi inżynierskich wspomagających projektowanie dużej inwestycji jaką niewątpliwie jest budowa metra w Krakowie. W pracy podjęto się analiz problemu na trzech różnych płaszczyznach. Każda z nich odmiennie wpływa na proces wspomagania projektowania budowy metra w Krakowie, a razem tworzą spójny projekt inżynierski. Realizacja projektu budowy metra w Krakowie jest niewątpliwie możliwa, a co więcej potrzebna. Podczas procesu ustalania przebiegu linii metra wzięto pod uwagę możliwości jak najlepszego połączenia ich z istniejącą już publiczną komunikacją funkcjonującą na powierzchni, tak aby stworzyć dogodne warunki przesiadkowe dla podróżujących. Co więcej, projektowane linie metra mają za zadanie jak najlepiej służyć pasażerom a przy projektowaniu przebiegów priorytetem było aby linie obsługiwały jak największe obszary przy jak najmniejszym koszcie budowy (w kontekście ilości linii). Znaczący to tyle, że trzy zaprojektowane linie są tak zlokalizowane aby były w stanie obsłużyć prawie każde miejsce w Krakowie. Napotkany problem w postaci konieczności przebiegu linii metra przez rzekę Wisłę, zrodził pomysł rozwiązania go poprzez stworzenie projektu mostu, lecz nie jest to jedyne możliwe rozwiązanie. Alternatywnym rozwiązaniem, równie skutecznym dla metra, mógłby być osadzony głęboko pod rzeką tunel. Aby wybrać które z tych rozwiązań jest lepsze dla Krakowa, koniecznym byłoby sprawdzenie warunków geologicznych i hydrogeologicznych, a przede wszystkim całkowitych kosztów budowy każdego z tych obiektów. Przeprowadzona przez nas ankieta i późniejsza interpretacja wyników potwierdziła tezę, o konieczności budowy nowego środka transportu publicznego. Wyniki w większości wskazywały na aprobatę mieszkańców co do pomysłu budowy metra.

Niniejsza praca inżynierska ma na celu pokazanie iż w Krakowie potrzebna jest tego typu inwestycja. Z transportu publicznego korzysta wiele osób. Mieszkańcy miasta liczą na szybki, sprawny i bezproblemowy przejazd komunikacją miejską. Często jednak, szczególnie w godzinach szczytu, naziemny transport nie wystarcza, a opóźnienia pojazdów sięgają kilkudziesięciu minut. Rozwój linii autobusowych czy tramwajowych okazuje się być niewystarczający, co więcej, zwiększanie ilości pojazdów w celu zaspokojenia potrzeb przemieszczania się mieszkańców skutkuje coraz większymi zatorami na drogach jak również większą emisją spalin do atmosfery. Budowa metra może rozwiązać część tych problemów, ponieważ jest bezkolizyjnym oraz mniej zanieczyszczającym środowisko środkiem transportu. Uważamy, że prędzej czy później w Krakowie pojawi się metro. Nie mamy również wątpliwości, że budowa tego typu infrastruktury będzie dla miasta i jego mieszkańców ogromnym wyzwaniem. Dlatego też

warto zadać sobie pytanie: „Czy warto zainwestować w lepszą przyszłość kosztem teraźniejszości ?” Dylemat ten będzie nam wszystkim towarzyszył jeszcze zapewne przez długi czas, przynajmniej do czasu podjęcia konkretnych decyzji dotyczących budowy metra w Krakowie.

8. Literatura

1. Davis David E.; „*GIS dla każdego, wydanie polskie*”. Wydawnictwo MIKOM, 2004.
2. Główny Urząd Statystyczny, dane z roku 2017.
3. Gotlib Dariusz, Iwaniak Adam, Olszewski Robert; „*GIS Obszary zastosowań*”. Wydawnictwo Naukowe PWN SA, 2007.
4. Hermanowska Grażyna, Hermanowski Wojciech; „*Technologia informacyjna*”. Wydawnictwo Operon, 2010.
5. Kraak Menno-Jan, Ormeling Ferjan; „*Kartografia, wizualizacja danych przestrzennych*”. Wydawnictwo Naukowe PWN SA, 1998.
6. Longley Paul A., Goodchild Michael F., Rhind David W.; „*GIS. Teoria i praktyka*”. Wydawnictwo Naukowe PWN SA, 2006.
7. Medyńska-Gulij Beata; „*Kartografia i geowizualizacja*”. Wydawnictwo Naukowe PWN, 2011.
8. Referendum lokalne w Krakowie, 25 maja 2014.
9. Rozporządzenie Ministra Infrastruktury z dnia 17 czerwca 2011 r. w sprawie warunków technicznych, jakim powinny odpowiadać obiekty budowlane metra i ich usytuowanie.
10. Suhecka Jadwiga; „*Statystyka przestrzenna. Metody analizy struktur przestrzennych*”. 2014.

9. Spis tabel

<i>Tabela 1 Stacje początkowe i końcowe projektowanych linii metra.</i>	<i>11</i>
<i>Tabela 2 Tabela przedstawiająca atrybuty projektowanej linii nr 1.</i>	<i>15</i>
<i>Tabela 3 Tabela przedstawiająca atrybuty projektowanej linii nr 2.</i>	<i>17</i>
<i>Tabela 4 Tabela przedstawiająca atrybuty projektowanej linii nr 3.</i>	<i>19</i>
<i>Tabela 5 Tabela przedstawiająca podstawowe wymiary konstrukcji.</i>	<i>36</i>

10. Spis rysunków

<i>Rysunek 1 Mapa Krakowa- opracowanie własne (źródło danych www.geoportal.gov.pl).....</i>	<i>8</i>
<i>Rysunek 2 Podział administracyjny województwa małopolskiego (krakow.stat.gov.pl).....</i>	<i>9</i>
<i>Rysunek 3 Schemat analizy w Model Builder.</i>	<i>12</i>
<i>Rysunek 4 Tereny wyłączone z analizy.....</i>	<i>13</i>
<i>Rysunek 5 Tereny pod którymi może zostać zaprojektowana linia metra.....</i>	<i>13</i>
<i>Rysunek 6 Mapa przedstawia teren na którym można zaprojektować linie na powierzchni....</i>	<i>14</i>
<i>Rysunek 7 Mapa przedstawiająca lokalizację przystanków komunikacji miejskiej i utworzony bufor.....</i>	<i>14</i>
<i>Rysunek 8 Mapa przedstawiająca tereny, które mogą być przeznaczone pod budowę stacji metra.....</i>	<i>15</i>
<i>Rysunek 9 Mapa przedstawiająca zaprojektowaną linię nr 1 wraz ze stacjami metra.</i>	<i>17</i>
<i>Rysunek 10 Mapa przedstawiająca zaprojektowaną linię nr 2 wraz ze stacjami metra.</i>	<i>18</i>
<i>Rysunek 11 Mapa przedstawiająca zaprojektowaną linię nr 3 wraz ze stacjami metra.</i>	<i>20</i>
<i>Rysunek 12 Diagram obrazujący procentowy stosunek płci ankietowanych.....</i>	<i>22</i>
<i>Rysunek 13 Wykres przedstawiający charakter podróży ankietowanych.....</i>	<i>22</i>
<i>Rysunek 14 Wykres przedstawiający wiek ankietowanych.....</i>	<i>23</i>
<i>Rysunek 15 Wykres przedstawiający dzielnice z których ankietowani zaczynają podróż komunikacją miejską.....</i>	<i>24</i>
<i>Rysunek 16 Mapa z wgranym plikiem shapefile zawierającym geometrie dzielnic Krakowa....</i>	<i>25</i>
<i>Rysunek 17 Mapa z wgranym plikiem shapefile zawierającym geometrie projektowanych przebiegów linii metra w Krakowie.....</i>	<i>26</i>
<i>Rysunek 18 Mapa z wgranym plikiem shapefile zawierającym geometrie projektowanych stacji metra w Krakowie.....</i>	<i>26</i>
<i>Rysunek 19 Panel zarządzania wykresami.....</i>	<i>27</i>
<i>Rysunek 20 Okno tworzenia funkcji do filtracji danych.....</i>	<i>28</i>
<i>Rysunek 21 Kartogram, prezentujący ilość podróżujących w danym okresie czasu w dzielnicach.....</i>	<i>28</i>
<i>Rysunek 22 Kołowy, w tym wykres przedstawiający opinię respondentów na temat potrzeby budowy metra w Krakowie.....</i>	<i>29</i>
<i>Rysunek 23 Wykres uwzględniający płeć ankietowanych.....</i>	<i>29</i>
<i>Rysunek 24 Wykres przedstawiający średnią z głosów ankietowanych dotyczący konieczności budowy metra w Krakowie wraz z podziałem na dzielnice.</i>	<i>30</i>

<i>Rysunek 25 Wykres przedstawiający ilość stacji każdej projektowanej linii metra.</i>	30
<i>Rysunek 26 Wykres prezentujący powód korzystania z transportu publicznego</i>	31
<i>Rysunek 27 Interaktywny wykres czasowy.</i>	31
<i>Rysunek 28 Wykres przedstawiający wybór ankietowanych.</i>	31
<i>Rysunek 29 Przedstawienie działania wykresu czasowego</i>	32
<i>Rysunek 30 Tooltip zawierający informacje dotyczące stacji "AGH"</i>	33
<i>Rysunek 31 Tooltip zawierający informacje na temat linii metra nr 3.</i>	33
<i>Rysunek 32 Mapa nr 1, utworzona w aplikacji M.App Studio.</i>	34
<i>Rysunek 33 Mapa nr 2, utworzona w aplikacji M.App Studio</i>	35
<i>Rysunek 34 Rysunek przedstawiający wymodelowaną i zwymiarowaną podporę konstrukcji.</i>	37
<i>Rysunek 35 Rysunek przedstawiający wymodelowaną i zwymiarowaną podstawę konstrukcji (Widok z boku).</i>	38
<i>Rysunek 36 Rysunek przedstawiający wymodelowaną i zwymiarowaną podstawę konstrukcji (Widok z góry).</i>	38
<i>Rysunek 37 Rysunek przedstawiający wymodelowaną i zwymiarowaną tubę tunelu (Widok z boku).</i>	38
<i>Rysunek 38 Rysunek przedstawiający wymodelowaną i zwymiarowaną tubę tunelu (Widok od frontu).</i>	39
<i>Rysunek 39 Rysunek przedstawiający wymodelowany obiekt 3D.</i>	40
<i>Rysunek 40 Rysunek przedstawiający wymodelowany obiekt 3D wraz nadanymi teksturami.</i>	40
<i>Rysunek 41 Mapa przedstawiająca lokalizacje projektowanego mostu z zaznaczonym przebiegiem linii metra.</i>	41
<i>Rysunek 42 Nadanie modelowi georeferencji w programie SketchUp.</i>	42
<i>Rysunek 43 Wizualizacja modelu 3D w aplikacji Google Earth.</i>	43
<i>Rysunek 44 Widok na model z różnych perspektyw.</i>	43

11. Spis załączników

12. Załączniki