

Geologiczne uwarunkowania budowy metra w Krakowie i możliwości wykorzystania metod geofizycznych w ich ocenie¹

ELŻBIETA PILECKA

prof. PK, dr hab. inż., Politechnika Krakowska, ul. Warszawska 24, 31-155 Kraków, e-mail: ep1813@gmail.com

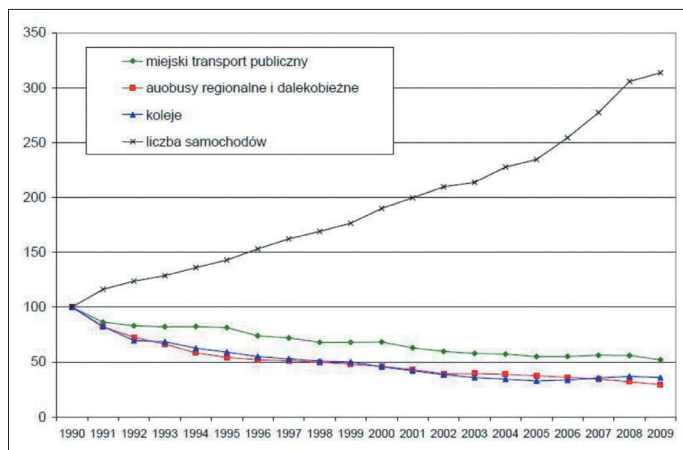
Streszczenie: W artykule przedstawiono geologiczne uwarunkowania budowy metra w Krakowie i zaprezentowano możliwości wykorzystania metod geofizycznych w ich ocenie. Omówiono kierunki rozwoju systemu transportowego w Krakowie oraz historyczne koncepcje budowy metra aż do aktualnej koncepcji z 2014 roku. Charakterystyczna budowa zrębowa miasta Krakowa determinuje sposoby geologicznego rozpoznania warunków budowy metra. Podkreślono rolę metod geofizycznych w rozpoznaniu zagrożeń wynikających z występowania utworów krasowych (leje, pustki, próżnie), uskoki, rowy i zręby tektoniczne oraz woda pod ciśnieniem w formacjach jurajsko-kredowych.

Słowa kluczowe: budowa metra, metody geofizyczne, geologia

Kierunki rozwoju systemu transportowego w Krakowie

W lipcu 2014 roku uchwalone zostało przez Radę Miasta Krakowa „Studium uwarunkowań i kierunków zagospodarowania przestrzennego Miasta Krakowa”. Studium zakłada dynamiczny rozwój miasta jako europejskiej metropolii. Jednym z podstawowych warunków spełnienia postawionych w studium celów jest zrównoważenie systemu transportowego. Możliwe będzie to poprzez realizację nowego środka transportu szynowego – metra lub premetra.

W ostatnich latach w Polsce obserwuje się spadek zainteresowania komunikacją zbiorową. Dzieje się tak z powodu rozwoju komunikacji indywidualnej. Czynnikiem wpływającym na taką sytuację jest niewątpliwie migracja ludności na obrzeża miast, standard komunikacji daleki od oczekiwań ludności i, większa w stosunku do poprzednich dziesięcioleci, dostępność samochodów osobowych. Obrazuje to poniższy wykres (rys. 1) [20].



Rys. 1. Tendencje w transporcie w Polsce na przełomie lat

Źródło: [20]

¹ ©Transport Miejski i Regionalny, 2016.

Tendencja ta utrzymana jest także w Krakowie. W 2013 roku udział transportu indywidualnego wynosił 34%, a komunikacji zbiorowej 36%. Od 1975 roku komunikacja indywidualna procentowo rośnie, a zbiorowa spada [2]. Należy dążyć do zmniejszenia udziału transportu indywidualnego, szczególnie w mieście zagrożonym smogiem. W związku z tym trzeba podjąć intensywne działania w celu podniesienia atrakcyjności komunikacji zbiorowej. W planach przyjmuje się, że podstawowymi środkami transportu zbiorowego Krakowa będą: metro, tramwaj i szybka kolej aglomeracyjna. Sytuacja metropolitalna Krakowa wymusza stworzenie systemu transportu zbiorowego, który umożliwi szybkie i sprawne poruszanie się po mieście. Charakter zabudowy, szczególnie centralnej części Krakowa, wymusza budowę metra przebiegającego pod powierzchnią terenu.

Historyczne koncepcje budowy metra w Krakowie

Pierwszą udokumentowaną próbą wprowadzenia środka komunikacji miejskiej nowej jakości było uwzględnienie w „Miejscowym planie zagospodarowania przestrzennego Krakowa” z 1965 roku budowy tunelu premetra na odcinku Rondo Mogilskie – Dworzec PKP – ulica Karmelicka (Trasa W-Z). Tunel ten miał być częścią trasy szybkiego tramwaju, który w przyszłości mógł zostać przekształcony w metro [8]. Tak więc rok 1965 można przyjąć za datę pojawienia się koncepcji budowy metra w Krakowie.

W 1976 roku powstało kolejne opracowanie mówiące o metrze, a mianowicie „Miejscowy plan zagospodarowania przestrzennego Krakowskiego Zespołu Miejskiego”. Plan ten zakładał wprowadzenie „nowego jakościowo środka transportu, którym docelowo miało być metro i kolej miejska” [4]. „Miejscowy plan zagospodarowania przestrzennego Krakowskiego Zespołu Miejskiego” z 1976 roku zapoczątkował podjęcie przez m.in. Biuro Rozwoju Krakowa ([15] [18]) czy Metroprojekt ([7]) licznych działań studialnych dotyczących komunikacji miejskiej ze szczególnym uwzględnieniem metra.

W 1982 roku powstało opracowanie sporządzone przez niemieckich inżynierów, w ramach współpracy Krakowa i Norymbergi. Ekspertyza składająca się z dwóch wariantów, zakładała budowę trzech odcinków tunelowych w obrębie Śródmieścia i w pełni podtrzymała celowość wprowadzenia tras tunelowych metra na tym obszarze [4].

W 1984 roku w Biurze Rozwoju Krakowa ukończono prace nad „Projektem systemu transportu Śródmieścia”,

którego celem było określenie zasad rozwoju i funkcjonowania komunikacji zbiorowej w centrum Krakowa. Bazując na założeniach projektu, przystąpiono do analiz potoków pasażerskich występujących w Śródmieściu. Na podstawie otrzymanych wyników oraz uwarunkowań historycznych, hydrogeologicznych oraz technicznych przedstawiono 9 wariantów tras podziemnych, które wyczerpywały wszystkie możliwości rozwoju komunikacji w omawianym obszarze. Dalsze analizy wyłoniły dwie trasy: W-Z oraz N-S, które stały się przedmiotem szczegółowych opracowań studialnych [4].

W październiku 1984 roku również w Biurze Rozwoju Krakowa opracowano „Prognozę ruchu dla trasy metro W-Z” [18]. Celem tej prognozy było określenie wielkości potoków pasażerskich dla ustalenia zasadności wprowadzenia metra na tej trasie. Analizie poddano 2 warianty trasy różniące się od siebie jedynie przebiegiem w centrum Krakowa.

W 1985 roku ukończono prace nad „Wstępną koncepcją techniczną pierwszej linii metra W-Z” [17]. Praca ta, od początku zakładała zaprojektowanie i budowę pełnego systemu metra w Krakowie. Pracownicy Biura Rozwoju Krakowa ponownie zaproponowali połączenie tunelami podziemnej kolejki Mydlnik z Centrum Administracyjnym Huty im. Lenina (z ewentualnym przedłużeniem trasy do Wzgórz Krzesławickich). Propozycja ta podyktowana była występowaniem w owym czasie dużych potoków pasażerów na tym kierunku.

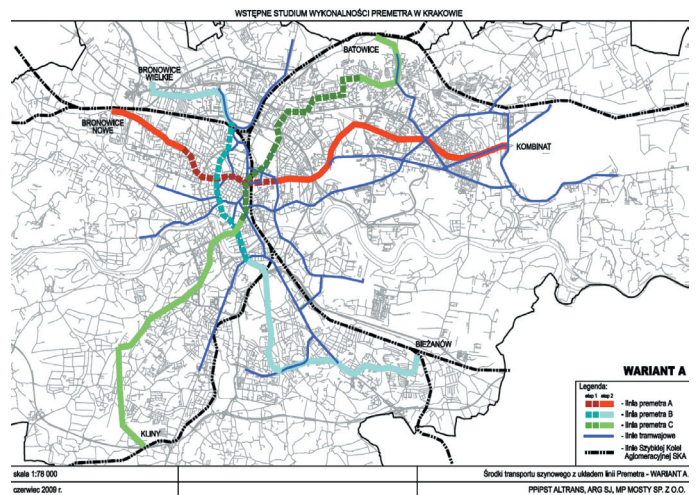
Zdecydowano, że do budowy linii W-Z metra stosowane będą tylko technologie dostępne w kraju (metody górnicze). Założenie to skutkowało koniecznością poprowadzenia niweloty trasy w wodoszczelnych ilach miocenijskich, które stwarzały korzystne warunki do stosowania polskich metod [17]. Projektując trasę metra, inżynierowie opierali się m.in. na orientacyjnym opracowaniu stworzonym w 1977 roku przez Kombinat Geologiczny „Południe” w Katowicach – Zakład Badań Geologicznych w Krakowie, pod tytułem: „Dokumentacja hydrogeologiczna obszaru miasta Krakowa”, z którego wynikało, iż na trasie przyszłego metra, strop iłów występuje średnio na głębokości 20 metrów [17]. Z tego względu przeważająca część trasy znajdowała się na głębokości 30 – 40 metrów.

W 2009 roku sporządzono wstępne studium wykonalności premetra w Krakowie. Projekt miał zawierać propozycję tras na relacjach o największych potokach pasażerskich, przebieg trasy w oparciu o dane geotechniczne, prognozowane wartości wskaźników techniczno-eksploatacyjnych, rozwiązania techniczne tuneli i stacji oraz analizę ekonomiczną. Koncepcja dotyczyła premetra po to, by w późniejszych latach móc przebudować go na pełnowartościowe metro. Efektem pracy było wyłonienie czterech wariantów tras A, B, C i D.

Wariant A zakładał budowę 3 linii premetra (rys. 2). Linia „czerwona” w tym wariantcie przebiega od Bronowic poprzez teren AGH, ulicami Basztową i Mogiłą, w kierunku dzielnicy Prądnik Czerwony, później na Rondo Kocmyrzkowskie do Huty im. Tadeusza Sendzimira. Linia

„niebieska” została poprowadzona z Bieżanowa przez ulice: Teligi, Wielicką, Krakowską, Straszewskiego, Nowy Kleparz, ulicą Prądnicką, przez pętlę tramwajową Krowodrza Górka, osiedle Azory do Bronowic Wielkich, przez okolice Centrum Handlowego Galeria Bronowice. Linia „zielona” miałaby swój początek na osiedlu Kliny, następnie przebiegając przez ulice: Bobrzyńskiego, Grota – Roweckiego, Dietla, Dworzec Główny, Rakowice, osiedla Prądnik Czerwony i Mistrzejowice, by kończyć się na pętli tramwajowej na osiedlu Piastów [11].

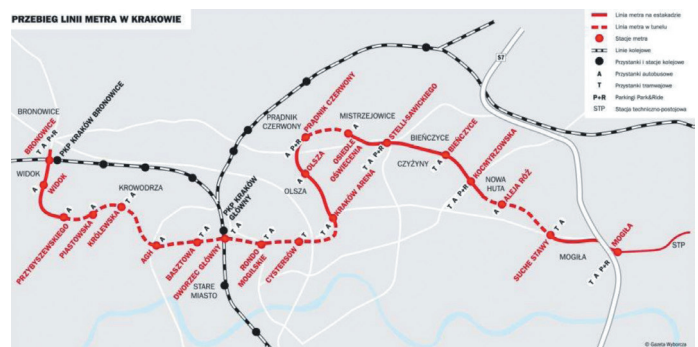
Autorzy studium zaproponowali, aby trasy powstawały etapami. Etapy budowane w pierwszej kolejności na rysunkach zostały zaznaczone linią przerywaną.



Rys. 2. Wariant A premetra w Krakowie

Źródło: [11]

W roku 2014 przeprowadzono referendum wśród mieszkańców Krakowa, w którym jedno z pytań dotyczyło budowy metra. W wyniku głosowania 55,11% mieszkańców opowiedziało się za budową podziemnej kolei. Władze miasta nie chcą podawać ostatecznej decyzji oraz dat dotyczących rozpoczęcia robót [21].



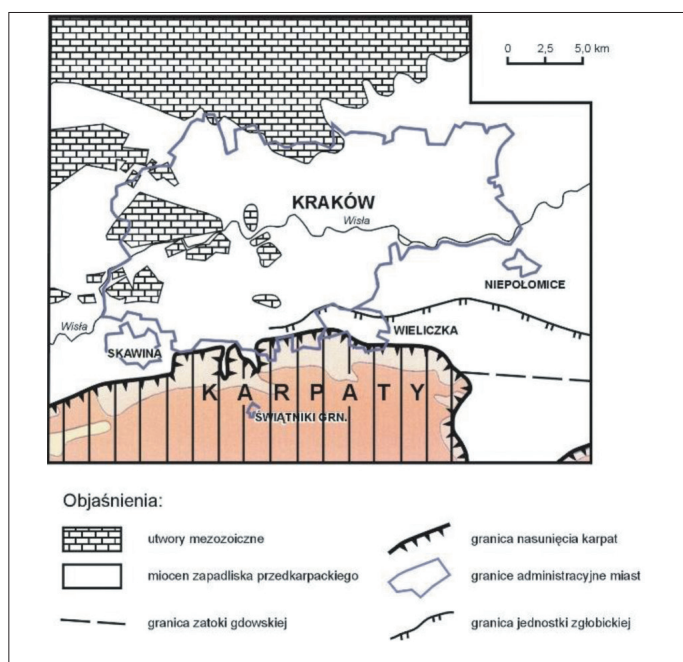
Rys. 3. Zarys przebiegu linii metra w Krakowie według koncepcji z 2014 roku

Źródło: [22]

Przed ogłoszeniem referendum opublikowany został zarys przebiegu I linii metra. Najnowsza koncepcja proponuje, aby część linii przebiegała pod ziemią, a tam gdzie jest to możliwe na estakadach. Ogólny przebieg trasy nawiązuje do koncepcji z poprzednich lat na linii W-Z (rys. 3) [22].

Budowa geologiczna Krakowa

W okolicy Krakowa znajduje się kilka wielkich jednostek geologicznych: monoklina śląsko-krakowska, niecka miechowska, zewnętrzne Karpaty fliszowe i górnośląskie zagłębienie węglowe [19]. Przeważająca część powierzchni Krakowa znajduje się na obszarze miocenijskiego zapadliska przedkarpackiego, które w tym rejonie jest wyraźnie przewężone (rys. 4). W przewężeniu tym wśród utworów miocenu występują jurajskie zręby tektoniczne (fragmenty monokliny śląsko-krakowskiej).

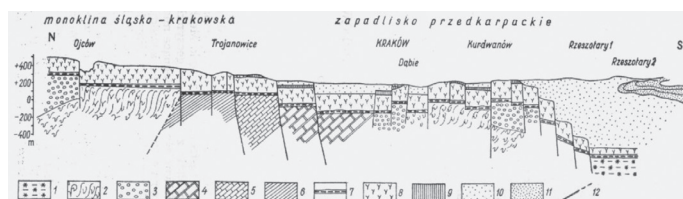


Rys. 4. Kraków na tle budowy geologicznej
Źródło: [12]

Zapadlisko przedkarpackie jest młodą jednostką tektoniczną, oddzielającą orogen karpacki od jego przedpola.

Według jednego z poglądów granicą północną zapadliska przedkarpackiego są rowy Nowej Huty i Krzeszowice [1], [5], [6]. W skład zapadliska przedkarpackiego wchodzi rowy wypełnione mioceniem oraz rozdzielające je zręby zbudowane z utworów starszych. Struktury jurajskie leżące w obrębie zapadliska przedkarpackiego stanowią południowy kraniec monokliny śląsko-krakowskiej [10].

J. Rutkowski [16] określa miejsce położenia Krakowa jako strefę wielkich bloków tektonicznych południowo-wschodniej części monokliny śląsko-krakowskiej, która w tym miejscu przechodzi w zapadlisko przedkarpackie.



Rys. 5. Przekrój geologiczny przez rejon Krakowa: 1 – skały metamorficzne, 2 – sylur, 3 – sylur górny, 4 – dewon, 5 – wizen, 8 – namur, 7 – jura środkowa, 8 – jura górna, 9 – kreda górna, 10 – miocen zapadliska przedkarpackiego, 11 – flisz karpacki, 12 – uskoki
Źródło: [6]

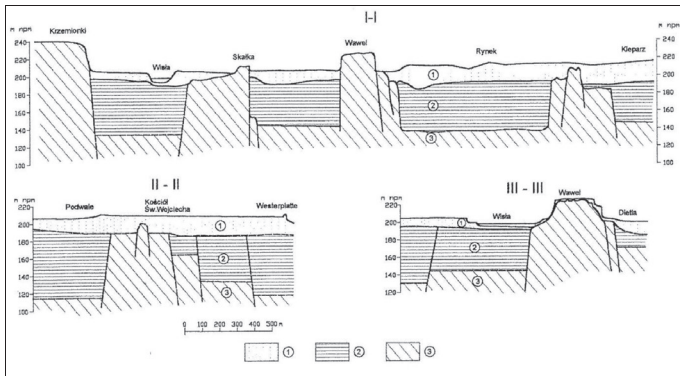
Charakterystyczną cechą budowy geologicznej Krakowa są zręby i rowy tektoniczne. Powstały one w orogenezie alpejskiej na skutek ruchów tensyjnych (rys. 5) [13]. Najbardziej znanym przykładem takiej formy tektonicznej jest zrąb Wawelu. Zrębami tektonicznymi na terenie miasta są: zrąb Sowińca, zrąb Kostrza, zręby Pychowickie, zrąb Twardowskiego, Krzemionki Podgórskie. Pozostała grupa zrębów występuje jedynie pod powierzchnią terenu. Zaliczyć można do niej: zrąb Skalki, Śródmieścia oraz zręby w rejonie ulic: Balickiej, Brzozowej, Dajwór, Głowackiego, Jasnej, Krupniczej, Miodowej, Odrowąża, Piaszczynej, Podchorążych, Prądnickiej, Rajskiej oraz Szujskiego [11]. Zręby tektoniczne podzielone są rowami. Do rowów tektonicznych można zaliczyć: rów Rudawy, rów Cholerzyn-Półwieś, rów Liszki-Skotniki, rów Wisły, rów Dębnicki. Obecnie w Krakowie, ze względu na poszerzenie się granic administracyjnych, znajdują się: zrąb Kurdwanowa, rów Łągiwnik, rów Nowej Huty. W centrum Krakowa można natknąć się na kilka mniejszych rowów tektonicznych, które ograniczają bądź rozdzielają zręby tektoniczne. Na obszarach, na których występują rowy lub obniżenia tektoniczne, strop podłoża jurajsko-kredowego zawiera się pomiędzy 40 a 70 metrami pod poziomem terenu. Do miejsc, w których strop znajduje się głębiej, możemy zaliczyć Rów Krzeszowicki (ponad 100 m) oraz w rejonie Nowej Huty (300–400 m) [11]. Zręby tektoniczne utworzone są przez utwory jurajskie. Są to wapienie, które najczęściej występują w postaciach: gruboławicowej, skalistej, płytowej.

Wapienie gruboławicowe reprezentowane są poprzez ławice buł krzemiennych, zwykle rozproszonych w obrębie ławicy. Miąższość ławic zazwyczaj mieści się w przedziale od 0,5 do 1,5 metra, lokalnie wzrastając do 3 metrów [11]. Wapienie skaliste występują jako kilkudziesięciometrowe masywy blokowe; nie wykazują uławicenia. Wapienie w postaci płytowej można spotkać w ławicach wśród wapieni gruboławicowych i skalistych.

Na wapieniach jury osadziły się utwory kredowe, które wykształcone są w postaci margli, wapieni marglistych oraz zlepieńców wapnistrych. Najliczniej występują w północnej części rejonu Krakowa, gdzie ich miąższość dochodzi do około 40 metrów, w części południowej spotykane są utwory kredowe o miąższości nie przekraczającej kilku metrów [11].

Prowadząc tunele metra (np. w centrum Krakowa lub pod Wisłą), należy liczyć się z utworami jurajsko-kredowymi. Graficzne przedstawienie wyżej opisanych formacji stratygraficznych w rejonie centrum Krakowa prezentowane jest na rysunku 6 za pomocą trzech przekrojów geologicznych: przekrój I-I poprowadzono z Krzemionek przez Wzgórze Wawelskie i Stare Miasto w kierunku Kleparza, przekrój II-II z ulicy Podwale do ulicy Westerplatte, przekrój III-III z ulicy Tadeusza Kościuszki do ulicy Józefa Dielta.

Utwory trzeciorzędowe w interesującej nas strefie reprezentowane są przeważnie przez piaski bogucickie, występujące na obszarze Nowej Huty. Do utworów pochodzących z tego okresu, możemy również zaliczyć morskie osady



Rys. 6. Schematyczne przekroje geologiczne w centrum Krakowa: 1 – utwory czwartorzędowe, 2 – utwory miocenijskie, 3 – utwory jurajsko-kredowe
Źródło: [11]

miocenijskie, takie jak [20]: margliste ropy (które mogą zawierać przewarstwienia tufitów, piaskowców, gipsu lub piasków), wapień, zlepione ilaste. W lejach oraz szczelinach krasowych można spotkać się, z pochodzącymi z paleogenu, niewielkimi ilościami piasków, ilów oraz rumoszu wapienno-krzemienistego.

Budowa metra odbywać się będzie głównie w utworach czwartorzędowych. Przede wszystkim są to piaski, żwir, namuły, gliny oraz grunty organiczne. W zależności od czynników, takich jak wysokość nad poziomem morza czy odległość od cieków wodnych, można spodziewać się występowania różnych utworów czwartorzędowych [11].

Na obszarach Wysoczyzny Krakowskiej (około 240 m n.p.m.), podobnie jak na tarasie średnim, licznie występują lessy oraz gliny lessopodobne. Mięszkość utworów czwartorzędowych na tym obszarze dochodzi do kilkunastu metrów. Poza utworami lessowymi występują także piaski wodnolodowcowe miejscami przykryte glinami.

Wody podziemne na omawianym obszarze występują we wszystkich wcześniej omawianych formacjach stratygraficznych. Główny poziom wodonośny tworzą żwirowo-piaszczyste formacje czwartorzędowe. Zwierciadło wód podziemnych w tych utworach układa się zazwyczaj zgodnie z morfologią terenu – na wysoczyznach występuje głębiej niż na tarasie niskim czy średnim [9].

W utworach trzeciorzędowych znaczące, ciągle poziomy wodonośne napotkać można jedynie w przewarstwieńiach piasków bogucickich na terenie Czyżyn i Nowej Huty. W pozostałych formacjach, pochodzących z tego okresu, występują jedynie lokalnie.

W miejscach, w których utwory trzeciorzędowe spotykają się z jurajsko-kredowymi, natrafic można na wody pod ciśnieniem. Zazwyczaj posiadają zwierciadło artezyjskie usytuowane od kilku do kilkunastu metrów ponad powierzchnią terenu. Zjawisko to doskonale zaobserwować można w rejonach źródeł pitnych przy ulicy Królewskiej, Majora, Podchorążych czy placu Sikorskiego [11].

W utworach jurajskich wody podziemne występują – podobnie jak w utworach kredowych – w wapiennych szczelinach i próżniach krasowych, które ulokowane są zazwyczaj w zrębach oraz rowach tektonicznych [11]. Wody w tych utworach charakteryzują się zróżnicowaną wzajem-

nością więzi hydraulicznych. Zwierciadło występuje w nich jako swobodne i położone jest na głębokości od kilku do kilkunastu metrów pod poziomem terenu.

Wstępną ocenę warunków geologicznych na I trasie planowanej linii metra w Krakowie można znaleźć w artykule S. Albiricht i M. Górnikiewicz [3]. Przebieg planowanej trasy I linii metra jest w części pod powierzchnią terenu i w części na jego powierzchni. W odcinkach pod powierzchnią terenu w przeważającej części trasa będzie biegła w utworach czwartorzędowych. Są to utwory piaszczyste i żwirowe. Utwory te są niespoiste i mogą występować tam przewarstwienia słabonośnych gruntów np. torfów. W rejonie Nowej Huty, aż do stacji Osiedle Oświecenia, linia metra przebiega powyżej poziomu wód gruntowych. W dalszej części w kierunku na zachód, planowana linia metra przebiega na granicy występowania wód gruntowych. Między stacją Kraków Arena i Cystersów, aż prawie do końca planowanej trasy, linia metra przebiega już pod poziomem wód gruntowych i należy się liczyć z możliwym znacznym dopływem wody w trakcie prowadzenia prac budowlanych. Może to utrudnić ich prowadzenie. Jest prawdopodobne, że trasa napotka niezidentyfikowane zręby jurajskie w obrębie Śródmieścia.

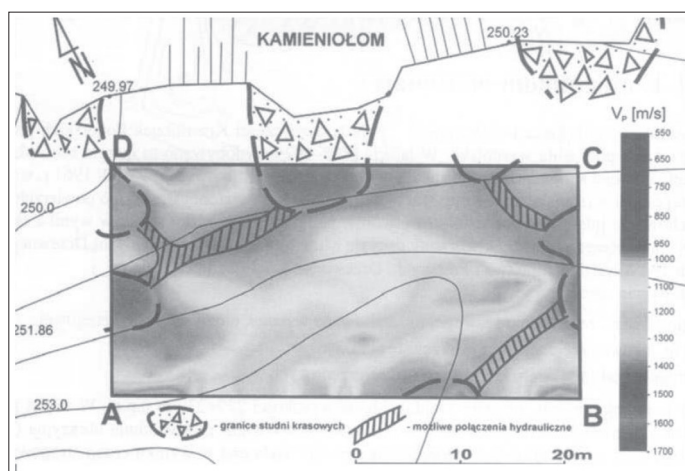
Rola metod geofizycznych w rozpoznaniu tras metra w Krakowie

Metody geofizyczne są szybkie w użytkowaniu i bezinwazyjne w badaniu budowy geologicznej. Szybka jest też interpretacja wykonanych badań. Spośród wielu metod geofizycznych tylko niektóre nadają się do rozpoznania podłoża gruntowego dla budowy metra. Zalicza się do nich: metody sejsmiczne, metody elektrooporowe, metody georadarowe.

Wszystkie wymienione metody geofizyczne będą przydatne w ustaleniu granic litologicznych między warstwami. Przydane jest stosowanie dwóch metod na tych samych profilach, co pozwala na weryfikację danych pomiarowych. Interesującą z punktu widzenia budowy metra jest metoda przeswietleń sejsmicznych, wykorzystująca pomiary prędkości rozchodzenia się fali w podłożu. Dzięki zastosowaniu metody przeswietleń sejsmicznych można ocenić stan podłoża gruntowego pod kątem stref osłabienia, zapadania, rozluźnień, pustek oraz stref przebiegów hydraulicznych, ocenić stan intensywności spękania górotworu, zlokalizować płytkie uskoki, ocenić zagrożenie deformacjami nieciągłymi pod kątem pustek, kawern oraz zapadlisk (np. w wapieniach jurajskich zjawiska krasu) (rys. 7).

Zasadniczym celem metody elektrooporowej jest określenie oporu właściwego podłoża gruntowego. Metoda elektrooporowa jest wrażliwa na zawodnienie. Można więc wykryć istniejące zawodnione soczewki gruntu, występowanie pustek i rozluźnień.

Ostatnia z wymienionych metod, georadarowa, znana również pod skrótem GPR (Ground Penetrating Radar) należy do grupy metod elektromagnetycznych. Jest to metoda szybka. Za jej pomocą można w szybki i dokładny sposób rozpoznać przypowierzchniowe podłoża gruntowe pod kątem obiektów o strukturze nieciągłej (szczeliny, pęknięcia,



Rys. 7. Obraz tomografii sejsmicznej prędkości fal sejsmicznych typu P (V_p) wraz z interpretacją położenia form krasowych w obrębie zrębu Krzemionek

Źródło: [14]

uskoki) oraz uzbrojenia terenu. (pomiary wykonywane metodą ciągłą). W warunkach infrastruktury miejskiej jest niezastąpiona.

Podsumowanie

Mieszkańcy Krakowa wypowiedzieli się w referendum „na tak” w sprawie budowy metra. Obecnie miasto w swoim układzie transportu nie zaspokaja potrzeb mieszkańców i turystów w szybkim przemieszaniu się po Krakowie. Zanieczyszczenie powietrza zagrażające zdrowiu i życiu mieszkańców oraz zakorkowane miasto powinny skłaniać ośrodki decyzyjne do podjęcia starań o nowe środki transportu, m.in. metra. Powiedzenie: „nie od razu Kraków zbudowano” w pełni oddaje istotę problemu metra w Krakowie. Budowa geologiczna podłoża gruntowego w Krakowie powoduje pewne zagrożenia dla budowy metra, dlatego należy je wcześniej zdiagnozować i przygotować plan zapobiegania określonym zjawiskom. Nie jest też dokładnie rozpoznana budowa geologiczna podłoża wzdłuż planowanej linii metra. Zagrożenia mogą wynikać z występowania utworów krasowych (leje, pustki, próżnie), uskoki, rowy i zręby tektoniczne oraz woda pod ciśnieniem w formacjach jurajsko-kredowych. Tradycyjne metody geologiczne, takie jak sondowania statyczne czy dynamiczne, mają charakter punktowy i mogą się okazać niewystarczającym narzędziem do uzyskania potrzebnej wiedzy o budowie geologicznej i hydrogeologicznej podłoża. W celu uniknięcia zagrożeń związanych z budową metra w skomplikowanych warunkach geologicznych należy dokonać dokładnego rozpoznania podłoża gruntowego Krakowa, posługując się metodami geofizycznymi (sejsmika, georadar, metoda elektrooporowa), wspartymi ewentualnie tradycyjnymi metodami geologicznymi.

Metody geofizyczne umożliwiają określenie rodzaju i miąższości skał budujących podłożę, zbadanie stref nieciągłości (np. pustki, leje krasowe) i spękań oraz zlokalizowanie uskoki. Ponadto metody geofizyczne mogą posłużyć do określenia położenia zwierciadła wód podziemnych oraz wykrycia soczewek wód zawieszonych.

Literatura

- Alexandrowicz S.W., *Przejawy tektoniki mioceńskiej w Zagłębiu Górnośląskim*, „Acta geologii polskiej”, 1964, vol.14, nr 12, Warszawa.
- Albricht S., Górniewicz M., *Metro w studium uwarunkowań i kierunków zagospodarowania przestrzennego miasta Krakowa*, „Transport Miejski i Regionalny”, 2015, nr 9.
- Albricht S., Górniewicz M., *Wstępna analiza możliwości budowy I linii metra w Krakowie na kierunku wschód – zachód*, „Transport Miejski i Regionalny”, 2015, nr 9.
- Albricht S., *Koncepcje lokalizacyjne systemu szybkiej komunikacji szynowej w Krakowie*, Mat. Konf. Nauk.-Techn., „Metro w Krakowie”, Wydawnictwo Politechniki Krakowskiej, Kraków 1987
- Bogacz K., *Budowa geologiczna północnego obrzeżenia Rowu Krzeszowickiego*, Prace Geol. nr 41 PAN oddz. Kraków, Warszawa. 1967.
- Bukowy S., *Budowa geologiczna Polski*, (w: Pożaryski W. (red)), *Tektonika t. IV, część 1*, Wyd. Geol., Warszawa 1974.
- Dobiecki A. i in., *Tramwaj w tunelu metra. Analiza i ocena możliwości skutków etapowego wprowadzenia tramwaju do tuneli metro*, Biuro Projektów Budownictwa Komunalnego i Specjalnego „Metroprojekt”, Warszawa 1986.
- Flaga K., *Z historii prac nad projektami podziemnej komunikacji w Krakowie*, Mat. Konf. Nauk.-Techn. „Problemy podziemnej komunikacji miejskiej w Krakowie”, Kraków 2002.
- Flisowski J., Wieczysty A., *Uwarunkowania hydrogeologiczne projektowanej trasy metra krakowskiego*, Mat. Konf. Nauk.-Techn. „Metro w Krakowie”, Wydawnictwo Politechniki Krakowskiej, Kraków 1987.
- Kleczkowski A.S., Mysza J., Solecki T., Stopa J., *Krakowskie artezyjskie źródła wód pitnych z wapieni jury*, AGH i Wydz. Ochrony Środ. Urząd Woj. Kraków 1994.
- Naborczyk J., Waclawski M., *Uwarunkowania geologiczne i hydrogeologiczne budowy tuneli dla komunikacji podziemnej w Krakowie*, Mat. Konf. Nauk.-Techn. „Problemy podziemnej komunikacji miejskiej w Krakowie”, Kraków 2002.
- Ney R., *Modelowe studium kompleksowego wykorzystania i ochrony surowców balneologicznych Krakowa i okolicy*, Wyd. IGSMiE PAN Kraków 2002.
- Pilecka E., Szczepańska M., *Budowa geologiczna Krakowa – ogólna charakterystyka*, „Technika Poszukiwań Geologicznych Geosynoptyka i Geotermia”, 2004, nr 5–6.
- Pilecki Z., Szczepańska M., Kłosiński J., Pilecka E., *Recognition of karst structure using refraction tomography*, Mat. Konf. 11th European Meeting of Environmental and Engineering Geophysics, 2005, Palermo.
- Reiser J., Janowska A., *Analiza porównawcza nakładów i skutków przestrzennych dla metra, tramwaju premetra na przykładzie I etapu W-Z*, Biuro Rozwoju Krakowa, Kraków 1986.
- Rutkowski J., *Budowa geologiczna regionu Krakowa*, „Przegląd Geologiczny”, 1989, nr 6.
- Wojciechowski T., *Wstępne koncepcje techniczne I linii W-Z metra w Krakowie*, Mat. Konf. Nauk.-Techn., „Metro w Krakowie”, Wydawnictwo Politechniki Krakowskiej, Kraków 1987.
- Zalewski W., Krzyżek R., *Prognoza ruchu dla trasy W-Z*, Biuro Rozwoju Krakowa, Kraków 1984.
- Znosko J., *Jednostki geologiczne Polski i ich stanowisko w tektonice Europy*, Kwartalnik Geologiczny, t.10, Warszawa 1966.
- www.sobieski.org.pl/analiza-is-40/
- www.wikipedia.pl
- www.krakow.gazeta.pl/