

METRO

Już niedługo spacer wzdłuż budowy drugiej nitki warszawskiego metra będzie świetną okazją, by przyjrzeć się najnowocześniejszemu i najbardziej złożonemu w kraju systemowi monitoringu geodezyjnego. Co będzie można tam znaleźć?

JERZY KRÓLIKOWSKI

Budowa metra to obecnie jedno z największych i najtrudniejszych przedsięwzięć inżynierskich w Polsce. Oczywiście można powiedzieć, że podobne prace były już przecież w Warszawie prowadzone na pierwszej nitce metra. Oba te przedsięwzięcia trudno jednak ze sobą porównywać. Licząca 21 stacji i 23 km długości trasa z Kabat na Młociny budowana była bowiem głównie metodą odkrywkową, a prace nad nią trwały aż 22 lata! Na drugiej nitce tylko w ciągu 3, najdalej 4 lat mają powstać dwa tunele o długości 5 km oraz 7 stacji, a cały odcinek (za wyjątkiem stacji) budowany będzie pod ziemią. To jednak nie koniec wyzwań. Wykonawca, czyli polsko-włosko-tureckie konsorcjum AGP Metro, będzie musiało także zmierzyć się z budową najgłębszej stacji w mieście (23 m pod ziemią, tuż obok skarpy wiślańskiej), łącznika dwóch linii metra pod pl. Defilad oraz tunelu pod dnem Wisły. By sprostać wyzwaniu, AGP Metro będzie korzystało z najnowocześniejszych rozwiązań technologicznych, z których

najbardziej spektakularnym są tzw. TBM-y (*tunnel boring machine*), czyli specjalne tarce do drążenia tuneli. W ciągu tygodnia będą one mogły wykopać nawet 80 metrów tunelu, podczas gdy na pierwszej linii prędkość ta nie przekraczała kilkunastu metrów!

Trzy TBM-y, które mają ruszyć już za kilka miesięcy, muszą się przewiercić przez centrum miasta, a więc tuż obok wielu cennych zabytków, biur oraz budynków mieszkalnych, gdzieś tam nawet pod nimi. Przepisy budowlane nakazują, by przy tak szeroko zakrojonych pracach na bieżąco monitorować ich wpływ na okoliczną zabudowę. A tu – jak wiadomo – niezbędny jest sprzęt oraz wiedza geodezyjna. Biorąc pod uwagę teoretyczne zagrożenia, jakie stwarza drążenie tuneli, oraz ogromne (potencjalne) straty z nimi związane, zarówno instrumenty pomiarowe, jak i obsługujący je specjaliści muszą być najwyższej klasy.

W przypadku II linii metra założenie systemu monitoringu powierzono włoskiej spółce IMG Monitoring. Wybór nie padł na nią bynajmniej ze względu na pochodzenie, ale konkretnie związki z firmą Astaldi (konsorcjantem



Tachimetr Leica TM 30 monitorujący okolice stacji Warszawa Stadion

AGP Metro), również z Włoch. IMG Monitoring może się bowiem pochwalić sporym doświadczeniem w prowadzeniu monitoringu dużych projektów inżynierskich. Spółka miała nawet okazję monitorować prace na budowie linii Czernieckiego metra. A jak podkreśla reprezentująca ją w Warszawie Pasquale Melillo, różnice między tymi projektami nie są znaczące. W obu przypadkach należy bowiem monitorować kilkadziesiąt punktów w różnych zakątkach miasta, i to z wykorzystaniem różnych technologii – począwszy od tachymetrów przez niwelatory po tensometry, inklinometry czy piezometry. I w Rzymie, i w Warszawie pracuje ponadto ten sam sprzęt, z wyjątkiem tachymetrów, które u nas są nowszej generacji.

Monitoring zaczyna się już na dwa miesiące przed startem budowy metra, a zakończy się dopiero rok jej zakończeniu. W przypadku warszawskiej kolejki pomiary ruszyły już w II połowie zeszłego roku. Jaki obszar objęty będzie monitoringiem? To zależy od głębokości tuneli. Tzw. strefa zero, najbardziej zagrożona przemieszczeniami czy deformacjami, to teren znajdujący się bezpośrednio nad korytarzem metra. Strefa pierwsza znajduje się w promieniu wynoszącym trzykrotność głębokości tunelu (czyli maksymalnie 23 m). Pozostały obszar to strefa 2, czyli najmniejszego ryzyka.

● TACHIMETRY NA PIERWSZYM FRONCIE

Jeśli na budowie metra nagle dojdzie do deformacji te-

POD KONTROLĄ

renu lub przemieszczeń i odkształceń budowli (odpukać), najprawdopodobniej pierwszym instrumentem, który to wykryje, będzie tachimetr. Łącznie wzdłuż drugiej nitki metra rozmieszczonych będzie 11 jednosekundowych instrumentów typu Leica TM 30 z dalmierzem o dokładności 0,6 mm + 1 ppm. Będą one odpowiedzialne za monitoring geodezyjny w czasie rzeczywistym. Gdy dwa TBM-y zaczną drażyć, każdy z instrumentów będzie mierzył kąty i odległości do około 60-70 punktów kontrolnych zastabilizowanych za pomocą specjalistycznych luster. Większość zostanie zainstalowana na ścianach budynków. Najczęściej będą one rozmieszczane w jednym rzędzie przy odstępach poziomych rzędu 7-10 m lub nieco gęściej w przypadku bardziej zagrożonych budynków (szczególnie tych w strefie zero). Przy wyższych budynkach przewidziano dwa rzędy pryzmatów. Pomierzenie wszystkich punktów z dokładnością 0,6 mm będzie zajmowało około godziny, potem cała procedura będzie powtarzana. Choć niektórym częstotliwość ta może wydać się niska, to – jak przekonuje Pasquale Melillo – w zupełności wystarczy, gdyż przy tego typu monitoringu symptomy niebezpiecznej sytuacji (szczególnie w przypadku alarmu) można dostrzec na wykresach już na wiele dni przed ewentualnym przekroczeniem wartości progowych.

Na razie tachimetry zainstalowano w czterech miejscach. Gdy ruszą TBM-y, na swoich pozycjach pomiary będzie prowadziła cała jednostka. W miarę postępu prac część z instrumentów będzie jednak zmieniała swoją lokalizację. Łącznie tachimetry

mają monitorować metro z 25 do 30 miejsc. W razie potrzeby liczba ta może zawsze ulec zmianie. Przy okazji przygotowywania całego tego systemu okazuje się, że monitoring może przynosić całkiem nieoczekiwane wyzwania, zupełnie niezwiązane z zagadnieniami technicznymi. Instalując bowiem pryzmaty na ścianach budynków, AGP Metro – co zrozumiale – musi uzyskać zgodę ich właścicieli lub zarządców. Teoretycznie nie powinno być to trudne, gdyż zależy im przecież na bezpieczeństwie nieruchomości i jej użytkowników. W praktyce zdecydowana większość za objęcie budynku monitoringiem żąda jednak zapłaty, co dodatkowo komplikuje całe przedsięwzięcie.

• UWAGA! ALARM!

Dane z tachimetrów za pomocą łącz sieciowych na bieżąco spływają do biura budowy, które mieści się na placu Defilad. Wraz z wynikami pomiarów pozostałych instrumentów są analizowane (w oprogramowaniu Leica GeoMoS Monitor i Analityzer) i wyrównywane (Leica GeoMoS Adjustment). Wszystko dzieje się automatycznie, nie ma więc konieczności, by przed ekranem komputera przez całą dobę ktoś mu-



Inklinometr na fasadzie praskiej kamienicy



Rząd pryzmatów na kamienicy przy ul. Targowej

sią śledzić liczby i wykresy. W oprogramowaniu zdefiniowano bowiem wartości przemieszczeń, po przekroczeniu których najpierw ogłaszany jest alert, a jeżeli jeszcze bardziej wzrosną – alarm. Wysokość tych progów jest różna i zależy m.in. od kondycji budynku i strefy, w jakiej znajduje się monitorowany punkt. Przeciętnie waha się w granicach od 10 do 15 mm dla alertu i 15-25 mm dla alarmu.

Co się stanie, gdy oprogramowanie ogłosi alarm lub alert? Na pewno nie włączają się syreny, by postawić całą budowę i mieszkańców na nogi. W pierwszej kolejności aplikacja wysyła do uprawnionej osoby powiadomienie za pośrednictwem SMS-a lub e-maila. Po jego otrzymaniu może ona sprawdzić wyniki pomiarów za pomocą przeglądarki internetowej, jak również ponownie skierować tachimetr na dany punkt. Nie da się bowiem wykluczyć, że alarm wzniecił nie osiadający budynek, ale np. ptak przelatujący pomiędzy pryzma-

tem a tachimetrem. Dopiero w dalszej kolejności – zgodnie z wewnętrznymi procedurami AGP Metro – podejmowane są poważniejsze kroki, takie jak inspekcja w terenie, powiadomianie odpowiednich służb miejskich czy porządkowych lub – w sytuacji wyjątkowej – ewakuacja zagrożonego budynku.

Konsorcjum AGP Metro uspokaja jednak, że dzięki wykorzystaniu TBM-ów ryzyko osiadania i deformacji terenu jest bardzo niewielkie. Co nie oznacza, że drogi i skomplikowany system monitoringu powstał tylko po to, by sprostać wymogom prawnym. Zbierane przez niego dane mogą się bowiem okazać bezcennym materiałem dowodowym podczas sporów czy procesów z właścicielami i zarządcami nieruchomości. Choćby na warszawskiej Pradze bez trudu można znaleźć budynki obok budowy metra, których stan jest – delikatnie mówiąc – opłakany. Dlatego właśnie monitoring startuje już dwa miesiące przed

rozpoczęciem prac budowlanych, by czarno na białym było widać, jakie szkody były już wcześniej, a jakie mogły być spowodowane przez budowniczych metra. Rzecznik prasowy AGP Metro Mateusz Witczyński przywołuje tutaj przypadek jednego z biur, które zaalarmowało konsorcjum o bardzo dużych i niepokojących wibracjach. Jak się szybko okazało, problem nie mógł leżeć po stronie metra, bo prace tego dnia akurat całkowicie wstrzymano. Śledząc niektóre doniesienia warszawskiej prasy, bez trudu można przewidzieć kolejne tego typu sytuacje.

Co ciekawe, zdarza się także, że właściciele i zarządcy nieruchomości zwracają się do AGP Metro o udostępnianie danych z monitoringu. Nie są one im jednak przekazywane, gdyż zgodnie z umową tuż po ich zebraniu należą już do Metra Warszawskiego Sp. z o.o. Poza tym trudno liczyć, by tak fahym informację oddawano osobom, które o monitoringu czy geodezji mają blade pojęcie.

● LASEREM W TARCZĘ

Kolejnym ciekawym zastosowaniem tachimetru na budowie metra będzie sterowanie TBM-em. Do tego celu wykorzystana będzie technologia VMT. Jak podkreśla kierownik Działu Geodezji w AGP Metro Mariusz Wiliński, rozwiązanie to jest jeszcze na tyle nowatorskie, że jest używane tylko w kilku tego typu przedsięwzięciach na świecie, w tym także na wspomnianej wcześniej rzymskiej linii C. Zgodnie z tym patentem tachimetr (w tym przypadku Leica TCA 1203) mocowany jest na metalowej konstrukcji do ściany tunelu tuż za tarczą drążącą. Pomiar wykonuje się do specjalnego celu zainstalowanego na TBM-ie, który to analizuje dochodzący do niego promień lasera w zakresie podczerwieni. Wynik pomiaru jest następnie transmitowany do operatora tarczy,

który widzi na ekranie monitora ewentualne odchylenie tarczy od poprawnej ścieżki wyliczone z dokładnością do pojedynczych milimetrów. Zdaniem Mariusza Wilińskiego sama zasada pomiaru jest zbliżona do prac prowadzonych na budowie dróg z wykorzystaniem popularnego oprogramowania InRoads.

● CO TYDZIEŃ Z NIWELATOREM

Monitoring geodezyjny to jednak nie tylko tachimetria. Nie każdy punkt trzeba bowiem mierzyć co godzinę, i nie wszędzie tachimetr jest najlepszym rozwiązaniem. Dlatego zespół geodetów z AGP Metro wykonuje także niwelację precyzyjną z wykorzystaniem niwelatorów kodowych Leica DNA03 oraz łąt inwarowych. Dzięki temu sprzętowi pomiar może być wykonywany z dokładnością 0,3 mm na 1 km (podwójnej niwelacji).

Instrumenty te mierzą już od kilku miesięcy i mają na koncie wymierne efekty swojej pracy. Jak wyjaśnia Mariusz Wiliński, dzięki precyzyjnej niwelacji budowniczy mogli np. bezpiecznie wykonywać 17-metrowej głębokości ściany szczelinowe w bezpośrednim sąsiedztwie nasypu kolejowego, po którym dziennie przejeżdża 400 pociągów.

Większość ciągów niwelacyjnych mierzy się co tydzień, choć im prace prowadzone są głębiej, tym częstotliwość jest większa – na przykład w miejscu, gdzie połączą się obie nitki metra, przy stacji „Świętokrzyska”, pomiary realizowane są codziennie. Z uwagi na to, że cały dzień co kilka minut kursują tam składy metra, geodeci mogą zabrać się do roboty dopiero po północy, a z pomiarami muszą się uwinąć do czwartej nad ranem. Szczególną



Tachimetr zamontowany na dachu Ministerstwa Finansów przy budowanej stacji „Nowy Świat”

troską objęty jest również tunel Wisłostrady, bo kilka metrów pod nim już wkrótce drążyć będzie TBM. O prowadzonych tam pomiarach świadczą m.in. łąty kodowe rozstawione po obu stronach w trzech przekrojach.

● MONITORING GEOTECHNICZNY

Pomiary geodezyjne to tylko połowa sukcesu. Drugą, równie ważną częścią przedsięwzięcia jest bowiem monitoring geotechniczny, z którym geodeci mają już mniej wspólnego. Tu dane zbierane będą m.in. przez: inklinometry (określające kąt wychylenia obiektów od pionu), ekstensometry (do pomiaru wydłużeń i odkształceń liniowych), tensometry (mierzące naprężenia np. ścian tuneli), szczelinomierze (określające wielkość szczelin lub luzów pomiędzy sąsiadującymi powierzchniami) czy wreszcie piezometry (do pomiarów zwierciadła wody w warstwach wodonośnych). Większość z tych urządzeń powstała w zakładach włoskiej

spółki Sisgeo. W przypadku dość bliskich geodetom inklinometrów dane są na bieżąco rejestrowane i zapisywane na lokalnym dysku. W określonych odstępach czasu (na ogół co tydzień), pracownicy AGP Metro zbierają dane i wprowadzają do systemu, który następnie szczegółowo je analizuje.

● GDZIE NA WYCIECZKĘ?

Same tylko tachimetry mają monitorować ponad tysiąc punktów, a niwelatory – 800. Do tego dochodzą jeszcze pomiary geotechniczne, hałasu, środowiska, pogody i wiele innych. Łącznie różnego rodzaju dane wokół budowy metra zbierane są z blisko 3 tys. punktów! Liczba ta zapewne

nie wzrośnie, gdy TBM-y rozpoczną drążenie tuneli. Wtedy też potrzeba będzie więcej rąk do pracy. Obecnie w AGP Metro pracuje około 20 geodetów, z czego tylko część zajmuje się monitoringiem. Jak zapowiada Mariusz Wiliński, gdy prace rozkręcą się na dobre, firma zatrudni jeszcze około 15 geodetów.

Po rozpoczęciu drążenia nadarzy się świetna okazja, by samemu przyjrzeć się funkcjonowaniu tego niezwykle złożonego rozwiązania. Obecnie tachimetria można wypatrzeć m.in. przy stacji kolejowej Warszawa Stadion (na betonowej kolumnie) oraz na dachu Ministerstwa Finansów. Baczniejsi obserwatorzy wzdłuż całej budowy powinni także dostrzec pryzmaty, repery czy inklinometry. W razie pytań dotyczących zarówno monitoringu, jak i budowy metra pomocą służy punkt informacyjny prowadzony przez wykonawcę znajdujący się tuż przy stacji „Świętokrzyska” (ul. Marszałkowska 105).

JERZY KRÓLIKOWSKI