



Podziemny kret, który zbuduje krakowskie metro. Jak działa TBM?

2026-03-05

Waży setki ton, ma długość boiska piłkarskiego i pracuje non-stop, a mimo to prześlizgnie się głęboko pod naszymi stopami niemal bezszelestnie. Budowa metra w Krakowie nie musi oznaczać paraliżu miasta ani zagrożenia dla zabytków. Jak to możliwe, że taki kolos wydrąży tunele głębiej, niż sięgają fundamenty kamienic, pozostawiając powierzchnię nienaruszoną?

Koniec ery kilofa, czas podziemnych fabryk

Budowa metra w XXI wieku nie musi oznaczać paraliżu miasta, rozkopanych arterii i pękających ścian kamienic. Wręcz przeciwnie – najcięższa praca odbywa się tam, gdzie nikt jej nie widzi i nie słyszy: w głębi ziemi. Wielu mieszkańców, myśląc o budowie tuneli, ma przed oczami obraz wielkiego wykopu dzielącego dzielnicę na pół. W miastach budujących metro to przeszłość. Choć przygotowanie inwestycji wymaga prac na powierzchni, tunel powstaje dzięki wewnętrznemu ekosystemowi. Mowa o TBM (*Tunnel Boring Machine*), urządzeniu tak zaawansowanym, że nazywanie go „wiertłem” byłoby krzywdzącym uproszczeniem. To ruchoma fabryka, która robi trzy rzeczy jednocześnie: drąży grunt, wywozi urobek i od razu buduje gotowy, żelbetowy tunel.

Maszyny tego typu sprawdziły się już w najtrudniejszych warunkach geologicznych – w Polsce od piasków pod Wisłą w Warszawie, po flisz karpacki, gdzie obecnie drążą tunele kolejowe w Małopolsce. Co najważniejsze dla Krakowian – metoda ta pozwala zachować historyczną tkankę miasta w nienaruszonym stanie. TBM wchodzi pod ziemię w jednym punkcie (szybie startowym), a wychodzi wiele kilometrów dalej, nie ingerując w to, co znajduje się pomiędzy. W Krakowie zakłada się praktycznie na całej długości wykonywać tunele pod ziemią, ograniczając prace z powierzchni jedynie do punktów startowych i końcowych maszyn, a także szybów technicznych oraz większości stacji. To oczywiście nie oznacza braku utrudnień, ale wizja rozkopanego całego miasta jest zdecydowanie zbyt defetystyczna – mówi, prof. Krzysztof Tajduś, czołowy specjalista geomechaniki górniczej i geotechniki z Akademii Górniczo-Hutniczej.

Bezpieczna głębokość: Głębiej niż sięgają fundamenty

Jedną z najczęściej podnoszonych obaw jest pytanie: „Czy maszyna nie przejedzie zbyt płytko pod moim domem?”. Przygotowując budowę metra, stawiamy na parametry, które gwarantują pełne bezpieczeństwo budynków. W zależności od terenu, głębokość tunelu może wynieść nawet 30 metrów.

Aby uzmysłowić sobie tę skalę, warto posłużyć się porównaniem do znanych krakowskich obiektów. TBM będzie przesuwana tak głęboko, że nad sklepieniem tunelu zmieściłaby się cała typowa kamienica ze Starego Miasta czy nawet gmach Muzeum Narodowego. Nawet wysokie budynki mieszkalne, jak słynny Blok Szwedzki w Nowej Hucie czy zabudowa osiedla Avia, nie sięgają swoimi fundamentami strefy, w której operuje maszyna. Ta potężna warstwa gruntu nad tunelem działa jak naturalny bufor, który skutecznie tłumi drgania i odgłosy pracy. W Krakowie, w warstwie powierzchniowej, mamy osady czwartorzędowe, głównie piaski i gliny, które są zmienne i mogą



wykazywać różną nośność. Poniżej występują ility krakowieckie, a jeszcze głębiej znajdują się utwory jurajsko-kredowe – wapienie i margle, które są już bardziej stabilnym podłożem. Właśnie dlatego rekomendujemy prowadzenie tuneli na głębokościach od kilkunastu do ok. 20 metrów. To pozwala na ominięcie warstw o niekorzystnych parametrach hydrogeologicznych i wejście w bardziej stabilne podłoże skalne – tłumaczy profesor Tajduś.

Efekt „korka w butelce”

Nowoczesna inżynieria znalazła genialne rozwiązanie dla ryzyk nierównomiernego osiadania gruntów, znane jako EPB (*Earth Pressure Balance*), czyli równoważenie ciśnienia gruntu oraz wody gruntowej.

Jak to działa? Głowica skrawająca rozdrabnia grunt lub skałę, które trafiają do zamkniętej komory roboczej. W komorze utrzymywane jest odpowiednie ciśnienie, stale kontrolowane przez czujniki. Aby urobek miał właściwą konsystencję, dodaje się do niego niewielkie ilości specjalnych mieszanek. Nadmiar materiału jest odprowadzany z komory za pomocą przenośnika ślimakowego. Cały proces można porównać do korka w butelce szampana – rozwiązanie to pozwala kontrolować zachowanie gruntu i skał w miejscu pracy maszyny.

Jak powstaje tunel?

Samo drążenie to istny spektakl precyzji. Na czele maszyny znajduje się obrotowa głowica skrawająca, uzbrojona w pancerne dyski i noże, które z siłą kilku barów wrzynają się w grunt. Maszyna przesuwana się do przodu dzięki potężnym siłownikom hydraulicznym – to gigantyczne „tłoki”, które odpychają cały zestaw od ułożonego wcześniej fragmentu tunelu.

Bo TBM nie zostawia za sobą pustej dziury. Tuż za komorą roboczą pracuje erektor – robotyczne ramię, które z chirurgiczną precyzją układa ściany tunelu z gotowych, betonowych elementów (tzw. tubingów), produkowanych w zakładzie prefabrykacji. Każdy pierścień tunelu jest natychmiast uszczelniany, a wolna przestrzeń między tubingiem a gruntem jest wypełniana pod ciśnieniem specjalną zaprawą wiążącą. W efekcie, po przejściu maszyny, pod ziemią zostaje gotowa, szczelna i stabilna konstrukcja.

Życie wewnątrz maszyny

Choć na powierzchni panuje cisza, pod ziemią praca wre 24 godziny na dobę, przez 7 dni w tygodniu. TBM to gigantyczny organizm, który potrzebuje do życia tyle energii, co małe miasteczko. W jego wnętrzu, które ciągnie się na blisko 100 metrów, pracuje kilkudziesięcioosobowa załoga: operatorzy w klimatyzowanym mostku dowodzenia, mechanicy, elektrycy i technicy dbający o logistykę.

Co ciekawe, ta podziemna fabryka jest samowystarczalna. Posiada własne systemy wentylacji, zasilania, a nawet specjalne komory ewakuacyjne zapewniające bezpieczeństwo załodze. Cały transport – wywóz ton ziemi i dostawa betonowych elementów – odbywa się już wydrążonym tunelem.



**Magiczny
Kraków**

Dzięki temu ulice Krakowa nie zostaną rozjeżdżone przez ciężarówki, a mieszkańcy unikną hałasu i kurzu.

Tempo prac jest imponujące. W zależności od rodzaju gruntu – od kilkunastu do nawet kilkudziesięciu metrów dziennie. To oznacza, że krakowskie metro może powstawać szybko i sprawnie, a jedynym znakiem, że pod miastem dzieje się coś wielkiego, będzie cichy szum wentylatorów przy szybach startowych.