

Jak badano podłoże gruntowe *Varso Tower* – najwyższego budynku w Unii Europejskiej

Michał Greła¹



How the soil of the *Varso Tower* – the tallest building in the European Union – was investigated. *Prz. Geol.*, 73: 604–607; doi: 10.7306/2025.66

Abstract. Just as decisions about where to build new cities have been made over the centuries, decisions about where to build skyscrapers in a given city were, to a certain extent, a matter of chance, and of political, administrative and other subjective factors. Then, for those decisions, we select the foundation method that seems optimal, or that has been lobbied for by construction and design companies during the implementation of a given project. Assessing the solutions historically, we observe the diversity in the methods used to build skyscrapers over the years. This diversity is related not only to the development of engineering thought, but also mainly to changes in the way buildings function, technological advances in specialist geotechnical work, and the geographical location of the facility. In recent years, we have observed an increasingly deep foundation slab, caused by the need to provide parking space for cars in multi-level underground garages. Perhaps, the only exception to this is skyscrapers built in China, where buildings are generally constructed on large plots rather than in compact urban developments. These buildings have large podiums and usually fewer underground floors. Currently, skyscrapers are founded using various types of intermediate foundations. The most popular are barrettes (usually rectangular in cross-section, and consist of single sections of diaphragm walls) and pile solutions with a diameter between 0.5 and 10 m in the case of so-called megapiles (<http://www.geotekst.pl/artykuly/budowy-swiata/pingan-international-finance-center-660-m>), and a length of up to 120 m under the tallest buildings (e.g., 1007 m high Kingdom Tower skyscraper in Jeddah, Saudi Arabia) (<http://www.geotekst.pl/artykuly/budowy-swiata/kingdom-tower-1007-m>). In Poland, barrettes with a length of 20 metres below the bottom of the foundation slab predominate (e.g. Warsaw Spire, Skyliner, Q22, Złota 44 buildings – all erected in the centre of Warsaw).

Keywords: site investigation, geological risk, investment risk

Celem niniejszego artykułu jest wyeksponowanie istoty badań geologicznych jako ważnego i niezbędnego elementu procesu budowlanego. Budowa geologiczna oraz rodzaj inwestycji determinują zakres badań, jakie doświadczony specjalista musi przeprowadzić dla zaprojektowania, wykonania i bezpiecznej eksploatacji budowli.

BUDOWA GEOLOGICZNA WARSZAWY

Budowa geologiczna Warszawy generalnie sprzyja budownictwu wysokościowemu, w którym największą trudnością jest zaprojektowanie i zabezpieczenie wykopu obudową przed napływem wody gruntowej. Pozostałe kwestie wynikają z podłoża, a ich waga zależy wyłącznie od sąsiedztwa danego budynku.

Wieżowce są wznoszone głównie w dzielnicy Wola i Śródmieście, gdzie w podłożu zawsze zalegają grunty antropogeniczne o miąższości od kilku do nawet do kilkunastu metrów, zazwyczaj ułożone na kompleksie glin przeważnie skonsolidowanych. Głębiej zalegają warstwy zagęszczonych piasków, a średnio od głębokości 40–50 m – iły (ryc. 1). Lokalnie spotykamy obszary z zaburzeniami głacictonicznymi (Sarnacka, 1979; Morawski, 1980)

Większość obiektów wysokościowych z wykopem fundamentowym sięga warstw piaszczystych, niekiedy pozostaje (względnie niewielkiej miąższości) warstwa glin w poziomie posadowienia, ale kwestia odcięcia od wpływu wody gruntowej pozostaje kluczowa, a ryzyko geotechniczne wynikające bezpośrednio z budowy geologicznej jest wysokie.

Realizacja każdej inwestycji budowlanej jest obarczona szeregami ryzyk. Zazwyczaj zaangażowanie większej ilości środków na etapie projektu i budowy zmniejsza eska-

lację niektórych z nich. Niestety często jest to decyzja czy- sto biznesowa lub intuicyjna, a nie rzetelna kalkulacja tego czynnika.

BADANIA PODŁOŻA GRUNTOWEGO A OCENA RYZYKA

W przypadku niektórych obiektów budowlanych anali- za ryzyka jest szczególnie istotna. Tak było w przypadku budynku *Varso*, aktualnie najwyższego budynku w Unii Europejskiej, którego realizacja stanowi przykład jak pro- jektować właściwie. Wysokość obiektu to 310 m. (ryc. 2) Autorem projektu jest znana pracownia *Foster & Partners*, projekt konstrukcji opracowało również znane *Buro Happold* (2015). Budynek budowano w latach 2016–2022 na zlecenie *HB Reavis*. Prace projektowe i związane z tym rozpoznanie geologiczne zaczęły się ok. 3 lata wcześniej. Wieloletapo- we badania podłoża gruntowego, analizy hydrogeologiczne i środowiskowe poprzedziły projektowanie geotechniczne, które od samego początku zakładało 4-kondygnacyjny ga- raż podziemny pod wszystkimi budynkami. Na potrzeby dokumentacji geologiczno-inżynierskiej wykonano 30 ot- worów badawczych o głębokości 30–55 m, 17 sondowań statycznych CPTU z testami dyssypacji oraz 2 badania DMT (Geotest, 2014). Pomimo wykorzystania najcięższe- go wówczas dostępnego w Polsce penetrometru o masie 22 t, badania statyczne osiągnęły głębokość ok. 20 m, co wskazuje na warstwy gruntowe o znacznej nośności.

Głębsze partie przebadano sondowaniem SPT oraz za pomocą badań geofizycznych. Zatem również dla realiza- cji części podziemnej tego obiektu kluczowa okazała się jego lokalizacja – bezpośrednio sąsiedztwo z tunelem śred- nicowym (obiekt kolejowy z 1933 r., w słabym stanie tech-

¹ Geotest Sp. z o.o., ul. Wita Stwosza 59A, 02-661 Warszawa; michal.grela@geotest.pl

jektowanego wieżowca. Badania geofizyczne wykonywane w centrach miast muszą być stosowane świadomie podczas ich wykorzystywania do uzupełniania danych o budowie geologicznej (celowo użyto słowa „świadomie”), ponieważ metody geofizyczne nie są powszechnie stosowane. W Polsce na potrzeby budownictwa są one na etapie wdrażania i weryfikacji w różnych sytuacjach topograficznych. Dodatkowo metoda jest często złożona i tylko doświadczeni operatorzy mogą ją poprawnie stosować. Często wyniki są niejednoznaczne, a obiektywna ocena ich przydatności oraz rzetelność wykonawcy badań są główną przyczyną rozczarowań. Prace te mają liczne ograniczenia niezależnie od klasy użytego sprzętu i doświadczenia operatora, a urbanizacja może istotnie wpływać na otrzymywane wyniki (najczęściej są to instalacje podziemne i nadziemne, wibracje wszelkiego typu, pola elektromagnetyczne, elementy i obiekty metalowe zlokalizowane działce lub w jej sąsiedztwie itp.), co także miało miejsce w przypadku tego projektu.

Teren inwestycji od strony zachodniej sąsiadował z przedwojenną, stale zamieszkałą kamienicą. Jednak nie nastąpiło to tylu problemów co sąsiedztwo od strony wschodniej (al. Jana Pawła II z estakadą, jedna z najbardziej ruchliwych arterii stolicy), tj. podziemna komora techniczna Dworca Centralnego połączona ze wspomnianym tunelem, zajmująca wschodnią część projektowanej nieruchomości. Komora znajdowała się w kilkumetrowym zagłębieniu o stromych zboczach, a jej płyta denna była ułożona kilkanaście metrów poniżej powierzchni terenu. Obiekt ten znajdował się w miejscu projektowanej głównej wieży, stąd badania w pierwszym etapie były wykonane wyłącznie po jego obwodzie. Trudności techniczne w usunięciu tego obiektu stanowiły istotny problem projektowy i wykonawczy, jak również utrudniały/uniemożliwiały wykonanie badań geologicznych. Dopiero po wykonaniu drogi zjazdowej do wnętrza zagłębienia, a na strop komory, wykonano uzupełniające wiercenia. Następnie umożliwiono także zjazd do wnętrza komory, gdzie wykonano kolejne rozpoznanie, w tym sondowania statyczne mniejszym urządzeniem. Nie udało się jednak wykonać zaplanowanego głębokiego rozpoznania, pomimo podbicia stropu tunełu do osiągnięcia nośności 15 t dla dużej wiertnicy, ponieważ siły przy wyciąganiu rury osłonowej zostały skalkulowane na kilkadziesiąt ton nacisku na strop. Badanie to wykonano dopiero w trzecim etapie po całkowitym usunięciu komory.

Wiercenie osiągnęło głębokość 70 m, licząc od powierzchni terenu i potwierdziło wcześniej stwierdzoną budowę geologiczną oraz rozszerzyło wiedzę o układzie i stanie gruntu w głębszych warstwach podłoża. Ustalono również głębokość zalegania osadów neogeńskich, których strop w tym obszarze Warszawy znajduje się na głębokości ok. 50 m, a które przeważnie nie są przedmiotem badań geologicznych, a jedynie potwierdza się ich obecność. W podziemiach wybudowanych budynków odtworzono usuniętą komorę, a następnie metodą górniczą połączono ją z powrotem z tunelem.

WODY PODZIEMNE

Na omawianym terenie stwierdzono dwa poziomy wodonośne: pierwszy – nieciągły, związany z lokalną obecnością gruntów piaszczystych w przegłębieniach stropu glin, drugi – naporowy, związany z miąższym kompleksem piaszczystym sięgającym stropu iłów. W obrębie gruntów spo-

istych występowały niewielkie soczewki gruntów sypkich stanowiące warstwę śródglinową. Dokładne rozpoznanie budowy geologicznej na całej nieruchomości dało możliwość optymalnego zaprojektowania obudowy wykopu i jego odwodnienia. Pionową obudowę wykopu wykonano w technologii ścian szczelinowych, natomiast poziomą przesłonę stanowiła naturalna warstwa przeciwfiltracyjna. Stwierdza się ją na obszarze wysokiej zabudowy centrum Warszawy. Często jest dyskutowana i niedoceniana przez niektórych projektantów, którzy ufają wyłącznie sztucznym przesłonom w technologii *jet grouting* (iniekcja strumieniowa). W wielu przypadkach nie jest to rozwiązanie optymalne.

Zdarza się że przesłona jest wykonywana również, kiedy naturalna warstwa odcinająca jest obecna w podłożu, co jest już niepotrzebną ingerencją w środowisko naturalne. Ponadto nikt obecnie nie zastanawia się nad sposobem likwidacji takich przesłon w przyszłości, kiedy inne technologie realizacji głębokich wykopów będą pozwalały budować szybciej i taniej. Czy te przesłony po częściowym skorodowaniu nie będą stanowić istotnego problemu (obecnie marginalizowanego) w posadawianiu nowych budynków?

Wspomniana naturalna przesłona jest zbudowana z glin pylastych, pyłu oraz lokalnie pyłów z domieszką gruntów organicznych i występuje przeważnie na głębokości ok. 30 m. Jej miąższość wynosi od kilku centymetrów do kilku metrów, a średnio ok. 1 m (ryc. 1).

W przypadku budynku *Varso* ściany szczelinowe sięgnęły do opisywanej naturalnej warstwy gruntów słabo przesuszczalnych. Zarówno przed rozpoczęciem budowy, jak i w jej trakcie był prowadzony monitoring poziomu wody gruntowej dla obserwacji naturalnych wahań II poziomu wodonośnego.

GRUNTY ANTROPOGENICZNE I INNE PRZESZKODY

Niska nośność gruntów antropogenicznych, trudna do przewidzenia zmienność ich miąższości i zróżnicowany skład stanowiły istotny czynnik analizy ryzyka środowiskowego – ewentualne ich historyczne zanieczyszczenie, oraz geotechniczne – możliwa utrata stateczności obudowy wykopu na skutek parcia luźnych gruntów znajdujących się na zewnątrz wykopu. Świadomość tych zagrożeń pozwoliła na zaplanowanie odpowiednich rozwiązań projektowych i bezproblemową realizację wykopu o objętości ok. ćwierć mln m³, w ścisłym centrum dużego miasta.

Ryzyko natrafienia na przeszkody na budowie, te nie-naturalne, jak pozostałości starych fundamentów, jest częściowo w kalkulowane w prace budowlane.

Natomiast przeszkody naturalne zawsze stanowią duży problem ze względu na swoją nieprzewidywalność. Podczas wykonywania wykopu na budowie odkryto ok. 65-tonowy gład narzutowy o wymiarach 5 × 3,5 × 2,5 m. Obiekt zapewne został przytransportowany w czasie zlodowacenia Odry (stadiał Warty) ok. 150–200 tys. lat temu z terenów południowej Finlandii (Ilnicki, 2017). Tak duże eratyki w tej części Warszawy odkrywano już co najmniej dwukrotnie, na ul. Próżnej i Marszałkowskiej. Gład tej wielkości stanowi pomnik przyrody i nie można go rozkruszyć na placu budowy. Wydobycie i przetransportowanie takiego znaleziska jest kosztowne i przeważnie nie jest w kalkulowane w budżet. Gład znaleziony na budowie *Varso* był zlokalizowany w miejscu obudowy wykopu. Zatem najpierw należało go przesunąć, następnie obudować w stalową klatkę i dopiero takim sposobem unieść



Ryc. 3. Głaz narzutowy wydobyty podczas budowy. Fot. P. Myszak
Fig. 3. A boulder excavated during construction. Fot. P. Myszak

i przetransportować w miejsce ekspozycji w stanie nienaruszonym (ryc. 3).

OCENA RYZYKA A KOSZTY

Głównym czynnikiem determinującym wykonanie każdej inwestycji budowlanej zgodnie z zaplanowanym harmonogramem czasowym i finansowym jest właściwe zaprojektowanie, nadzorowanie i wykonanie zamierzeń zawartych w projekcie. Aby właściwie wykonać ww. czynności należy zatem zdefiniować i ocenić ryzyko.

Ryzyko w budownictwie kalkulowane jest na podstawie analizy ryzyk związanych z poszczególnymi fazami procesu budowlanego (wg Pottlera i in., 2006, ze zmianami autora):

- ❑ ryzyko projektowe – zwiększenie kosztów na skutek uszczegółowienia projektu,
- ❑ ryzyko zwiększenia kosztów – w wyniku nowego oszacowania kosztów inwestycji,
- ❑ ryzyko kontraktowe – zwiększenie kosztów związane ze zmianami warunków serwisu, gwarancji itp.,
- ❑ ryzyko związane ze zmianą celu inwestycji – zmiana projektu, legislacji itp.,
- ❑ ryzyko finansowe – zwiększenie kosztów w czasie, niedoszacowanie kosztów, inflacja,
- ❑ ryzyko rynkowe – zwiększenie kosztów w wyniku np. stagnacji gospodarczej czy zmiana koniunktury rynku,
- ❑ ryzyko związane z zatwierdzeniem projektu – w wyniku np. zmiany procedury zatwierdzającej,
- ❑ ryzyko związane z siłami natury – zwiększenie kosztów w wyniku powodzi, osuwiska, trzęsienia ziemi itp., co szerzej omówiono w publikacji Majer i in. (2013),
- ❑ ryzyko geosrodowiskowe – zwiększenie kosztów w wyniku stwierdzenia skażonych gruntów,
- ❑ ryzyko geotechniczne – zwiększenie kosztów z powodu nieznanymi lub niewystarczająco rozpoznanych warunków geologicznych i hydrogeologicznych, w wyniku niewłaściwie prowadzonych prac budowlanych, nieprawidłowo wykonanych lub zaprojektowanych specjalistycznych robót geotechnicznych,
- ❑ inne – oprotowanie inwestycji, konflikt zbrojny.

W ryzyku geotechnicznym oprócz zagrożeń wynikających bezpośrednio z niedostatecznego rozpoznania warunków wodno-gruntowych, błędnej interpretacji lub metodyki badań, błędów projektowych czy błędnie prowadzonych prac budowlanych należy uwzględnić przeszkody naturalne, np. głazy narzutowe, pnie drzew itp., oraz antropogeniczne, np. stare studnie i fundamenty, stare otwory wiertnicze, szyby i sztolnie górnicze itp., które mogą być źródłem niespodziewanych problemów na placu budowy. Również podłoże skaliste pomimo zapewnionej nośności niesie szereg wyzwań (Hoek, Palmieri, 1998). W tych aspektach powinny być pomocne wyniki badań podłoża gruntowego oparte o analizę map historycznych, w tym geologicznych, z uwzględnieniem ogólnej znajomości terenu, m.in. jego historii, użytkowania i innych.

Realizacja opisywanego budynku pochłonęła kwotę rzędu 1 mld PLN. Dla porównania badania geologiczne, które były podstawą, aby cała realizacja przebiegła bez problemów, zgodnie z harmonogramem i założonymi kosztami, stanowiły ok. 0,1%. Świadomość ważności badań geologicznych jest duża, jednak badania te wciąż są obiektem pozornych oszczędności zarówno na budowach domów jednorodzinnych, jak i na największych inwestycjach infrastrukturalnych w Polsce, o ile projektant nie pochodzi z krajów, gdzie analiza ryzyka jest kluczowym czynnikiem w kalkulowaniu opłacalności projektu.

Tylko świadomi inwestorzy i projektanci doceniają wagę dobrze wykonanego rozpoznania podłoża i potrafią bez eskalacji ryzyka w żadnej z faz projektu wprowadzić oszczędności do konstrukcji, dzięki rzetelnie opracowanemu modelowi podłoża oraz wyznaczonych wartości parametrów geotechnicznych.

Składam uprzejme podziękowania Recenzentom za ich wyjątkowo wnikliwie uwagi i spostrzeżenia.

LITERATURA

- BURO HAPPOLD Polska Sp. z o.o. 2015 – Projekty budowlane budynków CHM1, CHM2 oraz CHM3.
- GEOTEST Sp. z o.o. 2014 – Dokumentacja geologiczno-inżynierska dla potrzeb projektowania i wykonawstwa budynków wielofunkcyjnych Chmielna Tower.
<http://www.geotekst.pl/artykuly/budowy-swiata/pingan-international-finance-center-660-m>
<http://www.geotekst.pl/artykuly/budowy-swiata/kingdom-tower-1007-m>
- HOEK E., PALMIERI A. 1998 – Geotechnical risks on large civil engineering projects. International Association for Engineering Geology and the Environment. 21–25 September, Vancouver, Canada. Vol 1; New developments in site investigations, 79–88.
- ILNICKI S. 2017 – Głaz narzutowy z terenu budowy przy ul. Chmielnej 73.
- MAJER E., SOKOŁOWSKA M., RYŻYŃSKI G. 2013 – Identyfikacja ryzyka geologicznego w procesie inwestycyjnym. Materiały z XXVIII Ogólnopolskich Warsztatów Pracy Projektanta Konstrukcji. Wisła, 5–8 marca 2013 r.
- MORAWSKI W. 1980 – Szczegółowa Mapa Geologiczna Polski w skali 1 : 50 000, ark. Warszawa Zachód (523) wraz z objaśnieniami. Państwowy Instytut Geologiczny, Warszawa.
- POTTLER R., SCHWEIGER H., PESCHL G. 2006 – Geohazards – Cost hazards. A new method for evaluation of risks in underground structures. <https://www.ilf.com/news/publications.pdf>
- SARNACKA Z. 1979 – Szczegółowa Mapa Geologiczna Polski w skali 1 : 50 000, ark. Warszawa Wschód (524) wraz z objaśnieniami. Państwowy Instytut Geologiczny, Warszawa.
- SIEMIŃSKA-LEWANDOWSKA A.E., MITEW-CZAJEWSKA M. 2016 – Analiza wpływu głębokiego wykopu związanego z projektowanymi przez HB Reavis budynkami biurowymi na mur oporowy tunelu linii średnicowej. Instytut Budowy Dróg i Mostów. <https://repo.pw.edu.pl/resultList>

Praca wpłynęła do redakcji 9.09.2024 r.
Akceptowano do druku 27.03.2025 r.