mgr inż. Anna Białecka[1)*)]
ORCID: 0000-0002-0662-2965
mgr inż. Anna Arkuszewska-Gomulak[1)]
ORCID: 0009-0007-3836-5901
dr hab. inż. Robert Cichowicz, prof. uczelni[1)]
ORCID: 0000-0003-3233-2838

Geodetic monitoring of structural displacements in the vicinity of a deep excavation

Monitoring geodezyjny przemieszczeń konstrukcji w sąsiedztwie głębokiego wykopu

DOI: 10.15199/33.2026.10.03

Abstract. This article discusses the monitoring and geomonitoring systems employed to continuously assess the impact of deep excavation works on the structure of an adjacent building. Identifies the primary risks associated with the deep excavation and discusses the displacement monitoring systems implemented by the contractor: traditional tachymetric surveying and the modern, fully automated WiSenMeshWAN system. The measurement data discussed in the article – which were made available to the authors – pertain to the excavation phase of the project. On-site, these data enable real-time analysis of the structure's behavior using each of the employed measurement methods. Upon completion of the construction work, the data will also allow for an assessment of the suitability of the chosen methods.

Keywords: geomonitoring; geodetic surveys; deep excavation; objects displacements; monitoring.

Streszczenie. W artykule omówiono zastosowane systemy monitoringu i geomonitoringu wykorzystywanego jako narzędzie umożliwiające bieżącą ocenę wpływu robót budowlanych, wykonywanych w głębokim wykopie, na konstrukcję budynku położonego w bezpośrednim sąsiedztwie. Zidentyfikowano główne ryzyka związane z realizacją głębokiego wykopu i omówiono zastosowane przez wykonawcę prac budowlanych systemy monitoringu przemieszczeń: tradycyjny pomiar tachimetryczny oraz nowoczesny w pełni zautomatyzowany system WiSenMeshWAN. Dane pomiarowe omawiane w artykule dotyczą prac w wykopie i zostały udostępnione autorom artykułu. Na budowie pozwalają one na bieżąco analizować zachowanie obiektu w przypadku każdej z zastosowanych metod pomiarowych. Na końcowym etapie prac budowlanych dane te pozwolą również na dokonanie oceny prawidłowości wyboru przyjętych metod.

Słowa kluczowe: geomonitoring; pomiary geodezyjne; głębokie wykopy; przemieszczenia obiektów; monitoring.

For modern developments in the city centers of major urban areas, what matters is not only a functional and contemporary design but also one that harmoniously integrates with the existing built environment – such as areas featuring historic architecture. Optimal use of space, including the underground sections of buildings, is also crucial. Multi-story structures typically incorporate underground levels designated for parking. Their construction necessitates deep excavations, presenting a challenge at both the design and implementation stages of the project [1]. The author of study [2] attempted a comprehensive discussion of the issues involved in estimating displacements for structures with deep foundations, covering aspects such as the interaction between deep foundations and groundwater, as well as permissible displacements for both the deeply founded structures themselves and neighboring buildings. Meanwhile, study [3] describes methods for the design and execution of deep excavations, taking into account European standards – specifically Eurocode 7 and related documents.

Currently in Poland, one of the key documents used to assess the impact of deep excavations on neighboring structures, thereby enabling a proper determination of the risk level, is ITB Instruction No. 376 [4]. This document was developed

W przypadku współczesnych inwestycji w śródmieściach dużych miast liczy się nie tylko funkcjonalny i nowoczesny projekt, ale także taki, który harmonijnie wpisuje się w istniejącą zabudowę, np. o charakterze zabytkowym. Istotne jest również optymalne wykorzystanie przestrzeni, w tym części podziemnych budynków. Projektowane obiekty wielokondygnacyjne mają najczęściej kondygnacje podziemne, przeznaczone na miejsca postojowe. Ich realizacja wiąże się z koniecznością wykonywania głębokich wykopów, co stanowi wyzwanie zarówno na etapie projektowania, jak i realizacji inwestycji [1]. Autor opracowania [2] podjął próbę kompleksowego omówienia problematyki szacowania przemieszczeń w obszarze obiektów budowlanych o znacznej głębokości posadowienia, w tym m.in. integracji głębokiego posadowienia i wód gruntowych, dopuszczalnych przemieszczeń głęboko posadowionych obiektów budowlanych oraz budynków znajdujących się w ich sąsiedztwie. Z kolei w [3] opisano metody projektowania i wykonywania głębokich wykopów, uwzględniając normy europejskie, a przede wszystkim Eurokod 7 i pokrewne.

Obecnie w Polsce jednym z podstawowych dokumentów służących do oceny wpływu głębokiego wykopu na obiekty w sąsiedztwie, umożliwiającym właściwe określenie poziomu zagrożenia, jest instrukcja ITB nr 376 [4]. Dokument ten powstał w odpowiedzi na dynamiczny rozwój budownictwa w centrach miast, gdzie coraz częściej realizuje się wykopy o głębokości

[1)] Politechnika Łódzka, Wydział Budownictwa, Architektury i Inżynierii Środowiska
[*)] Correspondence address: anna.bialecka@p.lodz.pl

in response to the rapid growth of construction in city centers, where excavations reaching depths of 25–30 m are increasingly being carried out in the immediate vicinity of existing buildings. Consequently, this necessitates determining the zone of influence of the excavation, as well as predicting and establishing permissible displacements and assessing the impact of dewatering and other construction activities [5]. In accordance with the guidelines, the structure and technical condition of the adjacent building must first be assessed; subsequently, displacement limits must be established and an inventory of existing damage made. The procedure also entails monitoring the structures during the construction of the underground section. Monitoring measurements must be continued until construction is complete, and at a minimum until measurement results stabilize, which typically means one year after the completion of construction. Planning such measurements requires a tailored approach. The baseline scope should include monitoring vertical displacements, while in justified cases, this scope must be extended to include horizontal displacement measurements [4].

The subject of geotechnical risk is also reflected in literature concerning the safety of structures in the vicinity of deep excavations; one such publication is [6], which ranks among the most frequently cited studies on geotechnical risk. The authors emphasize that structures including those built within or adjacent to deep excavations are particularly vulnerable to geohazards and require close attention from designers and contractors. These risks stem from both the nature of the ground and the impacts associated with the excavation process [6, 7]. They also highlight the importance of correctly identifying risks during the design phase, as a failure to adopt the proper approach can lead to serious consequences, particularly in dense urban areas. **The authors emphasize the necessity of employing geotechnical monitoring and observation, which enable the ongoing monitoring and assessment of an excavation's impact on nearby structures.** Informed and effective management of structural risk is essential, with geomonitoring serving as a key tool that allows for the continuous assessment of how construction progress affects neighboring structures [8]. The importance of geodetic monitoring is also highlighted in [9], which stresses that such monitoring is required both during the execution of construction projects and for the proper operation of existing structures. While geodetic monitoring is implemented in many new projects, it is not yet standard practice. The authors of [9] argue that the scope of monitoring, the duration and frequency of measurements, and the selection of measurement methods are often determined arbitrarily.

Geodetic regulations [10] govern surveying activities required for the construction process. Geodetic surveying during construction comprises:

1) geodetic support for construction and assembly;

2) measurement of displacements and deformations of structures or their subgrade;

3) as-built geodetic surveying of structures or their components.

The aforementioned activities are carried out if specified in the construction design or at the request of a participant in the construction process. Geodetic surveying during construction comprises:

1) geodezyjną obsługę budowy i montażu;

2) pomiar przemieszczeń i odkształceń obiektów budowlanych lub ich podłoża;

3) geodezyjną inwentaryzację powykonawczą obiektów lub ich elementów.

Wymienione czynności wykonywane są, jeżeli zostały przewidziane w projekcie budowlanym lub na wniosek uczestnika procesu budowlanego [10]. Wyniki pomiarów wymagają udokumentowania, a wykonanie czynności pomiarowych potwierdza uprawniony geodeta wpisem w dzienniku

25–30 m w bezpośrednim sąsiedztwie istniejących budynków. W efekcie wymaga to określenia zasięgu oddziaływania wykopu, przewidywalnych i dopuszczalnych przemieszczeń, wpływu odwodnienia i innych robót budowlanych [5]. Zgodnie z instrukcją należy najpierw ocenić konstrukcję budynku sąsiedniego i jego stan techniczny, a następnie określić graniczne wartości przemieszczeń i dokonać inwentaryzacji istniejących uszkodzeń. Procedura ta zakłada również monitorowanie obiektów podczas wykonywania części podziemnej. Pomiary kontrolne należy prowadzić do chwili zakończenia budowy, ale nie krócej niż do ustabilizowania się wyników pomiarów, co zwykle oznacza rok po zakończeniu budowy. Planowanie takich pomiarów wymaga indywidualnego podejścia. Zakres podstawowy powinien zakładać prowadzenie pomiarów przemieszczeń pionowych, a w uzasadnionych przypadkach zakres ten należy rozszerzyć o pomiary przemieszczeń poziomych [4].

Tematyka ryzyka geotechnicznego znalazła również odzwierciedlenie w literaturze dotyczącej bezpieczeństwa konstrukcji w sąsiedztwie głębokich wykopów, a jedną z publikacji jest [6], należąca do najczęściej cytowanych opracowań dotyczących ryzyka geotechnicznego. Autorzy podkreślają, że obiekty budowlane, w tym konstrukcje realizowane w głębokich wykopach lub ich sąsiedztwie, są szczególnie narażone na georyzyko i wymagają dużej uwagi projektantów i wykonawców. Zagrożenia wynikają zarówno z charakteru podłoża, jak i oddziaływań związanych z wykonywaniem wykopu [6, 7]. Zwracają także szczególną uwagę na właściwe zidentyfikowanie ryzyka na etapie projektowania, ponieważ brak właściwego podejścia może mieć poważne konsekwencje, szczególnie w zwartej zabudowie miejskiej. **Autorzy podkreślają konieczność stosowania monitoringu i obserwacji geotechnicznych, które pozwalają na bieżące monitorowanie i ocenę wpływu wykopu na obiekty w bliskim sąsiedztwie**. Konieczne jest świadome i skuteczne zarządzanie ryzykiem konstrukcyjnym, w którym geomonitoring staje się kluczowym narzędziem, umożliwiającym bieżącą ocenę wpływu postępu robót budowlanych na obiekty sąsiednie [8]. Na monitoring geodezyjny zwrócono także uwagę w [9]. Podkreślono, że jego prowadzenia wymaga realizacja inwestycji budowlanych i prawidłowa eksploatacja już powstałych obiektów. Monitoring geodezyjny jest prowadzony przy realizacji wielu nowych inwestycji, ale nie jest on standardem. Autorzy [9] uważają, że zakres monitoringu, okres prowadzenia pomiarów i ich częstotliwość oraz dobór metod pomiarowych często są dziełem przypadku.

Przepisy dotyczące geodezji [10] regulują tematykę pomiarów na potrzeby procesu budowlanego. Pomiar geodezyjny w toku budowy obejmuje:

struction process [10]. Measurement results must be documented, and the performance of measurement activities is confirmed by a licensed surveyor via an entry in the construction log. An entry is also required to record any discrepancies between measurement results and the specifications of the construction design. Geodetic displacement measurements are characterized by high accuracy and a short execution time, the latter depending on the size of the control network being measured. In the case of structures at risk, the accurate determination of displacements is essential to identify structural changes and to devise protective measures that prevent structural failure [9]. The selection of a measurement method for determining the displacements of structures depends on the following factors [9, 11]:

- the rate of changes occurring in the structure;
- the type of displacements being determined – **horizontal** (measured in the horizontal plane: two components and time), **vertical** (measured in the vertical plane: one component and time), **spatial** (measured: three components x, y, z and time), as well as **relative** (referred to points located on the structure under investigation) and **absolute** (referred to fixed points located outside the zone of influence);
- the required accuracy of the determined displacements.

The main methods used for displacement monitoring include geodetic, geotechnical, and remote sensing techniques [12]. **Geodetic methods** include:

- **tachymetric measurement**, involving the measurement of angles and distances to targets mounted on the structure to determine the three components (x, y, z); measurement can also be performed using tachymeters that automatically carry out precise measurements to prisms attached to the structure;
- **precision leveling**, the measurement of height differences, used to determine vertical displacements, i.e., structural settlement;
- **hydrostatic leveling**, which utilizes a system of interconnected tubes equipped with sensors to enable precise measurement of height differences;
- **measurement using GNSS** (Global Navigation Satellite System) technology, which allows for continuous, real-time position measurement utilizing reference stations.

Geotechnical methods include methods enabling the measurement of displacements using sensors, such as:

– **inclinometers**, which, when inserted into the ground, allow for the measurement of horizontal and vertical displacements;

– **crack meters**, which are mounted across cracks in masonry or structures to record crack width;

– **piezometers**, which monitor groundwater levels, often associated with ground movements, by measuring pore pressure (i.e., the pressure exerted by water filling the voids between soil grains);

– **wireless monitoring systems**, which facilitate data collection via automated sensors utilizing long-range radio nodes.

Remote sensing methods include:

- **3D laser scanning** (so-called LiDAR), which, through periodic measurement and the generation of point clouds, enables the detection of spatial changes across an entire object;

budowy. Wpisu wymaga również stwierdzenie rozbieżności między wynikami pomiarów a ustaleniami projektu budowlanego. Geodezyjne pomiary przemieszczeń charakteryzują się krótkim czasem realizacji, zależnym od wielkości mierzonej sieci kontrolnej, oraz dużą dokładnością. W przypadku zagrożonych obiektów budowlanych niezbędne jest poprawne wyznaczenie przemieszczeń w celu ustalenia zmian konstrukcji oraz opracowania zabezpieczeń pozwalających na uniknięcie katastrofy budowlanej [9]. Dobór metody pomiaru do wyznaczenia przemieszczeń obiektów budowlanych jest zależny od następujących czynników [9, 11]:

- szybkości zmian, jakie zachodzą w obiekcie;
- rodzaju wyznaczanych przemieszczeń – **poziome** (mierzone w płaszczyźnie poziomej dwie składowe i czas), **pionowe** (mierzone w płaszczyźnie pionowej jedna składowa i czas), **przestrzenne** (mierzone trzy składowe x, y, z i czas) oraz **względne**, czyli odniesione do punktów położonych na badanym obiekcie i **bezwzględne**, czyli odniesione do stałych punktów zlokalizowanych poza zasięgiem oddziaływania;
- wymaganych dokładności wyznaczanych przemieszczeń.

Do głównych metod stosowanych przy monitoringu przemieszczeń należą techniki geodezyjne, geotechniczne oraz teledetekcyjne [12]. **Do metod geodezyjnych** możemy zaliczyć:

- **pomiar tachimetryczny** realizowany przez pomiar kątów i odległości do tarcz tachimetrycznych zamontowanych na obiekcie do wyznaczenia trzech składowych x, y, z; pomiar może być również realizowany przez tachimetry automatycznie wykonujące precyzyjny pomiar do pryzmatów zamocowanych na obiekcie;
- **niwelacja precyzyjna**, czyli pomiar różnicy wysokości, która służy do wyznaczania przemieszczeń pionowych, tzw. osiadania obiektu;
- **niwelacja hydrostatyczna**, która wykorzystuje system połączonych rurek z czujnikami i pozwala na precyzyjny pomiar różnicy wysokości;
- **pomiar z wykorzystaniem technologii GNSS** (Global Navigation Satellite System), która pozwala na ciągły pomiar pozycji z wykorzystaniem stacji referencyjnych, realizowany w czasie rzeczywistym.

Do metod geotechnicznych zaliczamy metody umożliwiające pomiar przemieszczeń za pomocą czujników, np.:

– **inklinometrów**, które wpuszczone w grunt pozwalają na pomiar przemieszczeń poziomych i pionowych;

– **szczelinomierzy**, które są montowane na pęknięciach murów lub konstrukcji w celu rejestracji wielkości rys;

– **piezometrów**, które przez pomiar ciśnienia porowego, tj. ciśnienia wywieranego przez wodę wypełniającą wolne przestrzenie między ziarnami gruntu, monitorują poziom wód gruntowych, często związanych z ruchami podłoża;

– **bezprzewodowych systemów do monitoringu**, zapewniających zbieranie danych pomiarowych za pomocą zautomatyzowanych czujników wykorzystujących węzły radiowe o dalekim zasięgu.

Do metod teledetekcyjnych zaliczamy:

- **skanowanie laserowe 3D** (tzw. LiDAR), które dzięki cyklicznemu pomiarowi i tworzeniu chmur punktów pozwala na wykrywanie zmian przestrzennych całego obiektu;

● **radar interferometry** (InSAR), a form of satellite analysis that allows for the detection of millimeter-scale changes over large areas.

Literature indicates that, in addition to commonly used geodetic methods, modern measurement techniques, such as **laser scanning and photogrammetry**, can serve as an interesting alternative or a supplement for measuring displacements [13]. International literature places particular emphasis on the use of geomonitoring in the form of fiber-optic strain-sensing systems [14]. Such systems are employed, for instance, to monitor the structure of one of the tallest buildings in Nur-Sultan, a city where numerous high-rise buildings founded on piles have been constructed over the past 25 years. A notable example is a unique residential building, 310–320 meters tall and featuring a four-level underground garage; the foundations of this structure were analyzed numerically using geotechnical software capable of assessing ground deformation. However, the best results are achieved when the monitoring system is installed during the construction phase of the facility [14].

It should be emphasized that the literature review revealed no studies directly addressing the perspective of the surveying sector, which in Poland is primarily responsible for the practical monitoring of displacements in buildings and structures. This indicates a research gap regarding the development of practical guidelines or recommendations for geomonitoring practitioners, while simultaneously highlighting the interdisciplinary nature of the subject and its practical relevance for both civil engineers and surveyors.

Characteristics of the planned investment and the facility located in its vicinity

Construction of the facility began in December 2025, with completion scheduled for December 2027. Data concerning the project, including the technical assessment of the adjacent tenement house, the geotechnical soil report, displacement measurements of the tenement house (geomonitoring), and monitoring data, were provided by the construction manager. The geodetic measurement results cover the excavation phase of the work between January 28 and June 10, 2026.

The site and facility under analysis are located in the city center of Lodz. The area features residential tenement houses built at the turn of the 20th century, alongside former industrial buildings that have undergone revitalization and been converted for office and service use. These central areas are characterized by high building density, with undeveloped spaces resulting from the demolition of structurally unsound buildings or poor urban planning during the 1970s and 1980s. The density of the city-center urban fabric allows for the siting of small structures as spot infill within the existing development, whereas large structures are permissible only if the existing buildings are to be demolished. One such project is the planned residential development known as “Piano Forte,” located at 57 Jaracza

● **interferometrię radarową** (InSAR), czyli analizę satelitarną, która pozwala na wykrywanie milimetrowych zmian na dużych obszarach.

Literatura wskazuje, że oprócz powszechnie stosowanych metod geodezyjnych, stosowanie nowoczesnych metod pomiarowych, takich jak **skanowanie laserowe i fotogrametria**, mogą stanowić interesującą alternatywę w pomiarze przemieszczeń lub stanowić ich uzupełnienie [13]. W literaturze międzynarodowej szczególną uwagę zwraca się na **zastosowanie geomonitoringu** w postaci światłowodowego systemu wykrywania odkształceń [14]. System ten znajduje zastosowanie np. w monitorowaniu konstrukcji jednego z najwyższych budynków w Nur-Sultan, gdzie w ciągu ostatnich 25 lat powstało wiele wieżowców posadowionych na fundamentach palowych. Szczególnym przykładem jest unikatowy budynek mieszkalny o wysokości 310–320 m, wyposażony w czterokondygnacyjny garaż podziemny, którego fundamenty analizowano numerycznie z wykorzystaniem oprogramowania geotechnicznego pozwalającego ocenić deformacje podłoża. Najlepsze efekty uzyskuje się jednak, gdy system monitoringu montowany jest już na etapie budowy obiektu [14].

Należy podkreślić, że podczas przeglądu literatury nie znaleziono opracowań odnoszących się bezpośrednio do perspektywy branży geodezyjnej, która w Polsce w przeważającej mierze odpowiada za praktyczne prowadzenie monitoringu przemieszczeń obiektów budowlanych i konstrukcji. Wskazuje to na lukę naukową dotyczącą opracowania praktycznych wytycznych/zaleceń dla osób zajmujących się geomonitoringiem, wskazując jednocześnie na interdyscyplinarność tego zagadnienia i praktykę zarówno dla inżynierów budownictwa, jak i geodetów.

Charakterystyka planowanej inwestycji i obiektu położonego w jej sąsiedztwie

Realizacja obiektu została rozpoczęta w grudniu 2025 r., a zakończenie inwestycji jest planowane w grudniu 2027 r. Dane dotyczące projektu realizowanej inwestycji; ekspertyzy technicznej kamienicy położonej w sąsiedztwie; opinii geotechnicznej gruntu; dane pomiarowe przemieszczeń budynku kamienicy (geomonitoring) oraz dane z monitoringu zostały udostępnione przez kierownika budowy. Wyniki pomiarów geodezyjnych dotyczą etapu prac w wykopie w okresie 28.01.–10.06.2026 r.

Analizowany teren i obiekt zlokalizowany jest w śródmiejskiej części Łodzi. Są to tereny zabudowane kamienicami mieszkalnymi wzniesionymi na przełomie XIX i XX wieku oraz dawnymi obiektami przemysłowymi, poddanymi rewitalizacji i przeznaczonymi na cele biurowo-usługowe. Tereny śródmiejskie to tereny o dużej gęstości zabudowy, gdzie niezagospodarowana przestrzeń powstała na skutek wyburzenia budynków w złym stanie technicznym lub złego gospodarowania przestrzenią miasta w latach siedemdziesiątych i osiemdziesiątych XX wieku. Gęstość zabudowy śródmiejskiej pozwala na lokalizację małych obiektów jako punktowego uzupełnienia istniejącej zabudowy, a dużych obiektów tylko wówczas, gdy

Street. The project entails the construction of a complex of multi-family residential buildings featuring commercial units, a two-level underground garage, and the necessary technical infrastructure. Figure 1 shows the investment site and the layout of the planned complex of above-ground buildings situated atop an underground garage. Two six-story buildings and a single-story building connecting them, located on the western side of the development, will adjoin the built-up property at 55 Jaracza Street, which directly borders the investment site.

The property adjacent to the new development site consists of a plot (Figure 2) occupied by tenement houses built at the turn of the 20th century, comprising a front building and two rear wings (orthophotomap), featuring traditional brick masonry construction. The building complex forms a U-shape in plan. The rear wings adjoining the front building (orthophotomap) have four to five stories above ground and partial basements.

dotychczasowa zabudowa podlega wyburzeniu. Takim obiektem jest planowana do realizacji inwestycja mieszkaniowa pod nazwą „Piano Forte" zlokalizowana przy ulicy Jaracza 57. Projekt obejmuje budowę zespołu wielorodzinnych budynków mieszkalnych z lokalami usługowymi, dwukondygnacyjnym garażem podziemnym oraz niezbędną infrastrukturą techniczną. Na rysunku 1 pokazano obszar inwestycji i rozmieszczenie zaprojektowanego zespołu budynków nadziemnych posadowionych na garażu podziemnym. Dwa budynki sześciokondygnacyjne i łączący je budynek parterowy, zlokalizowane od strony zachodniej inwestycji, będą sąsiadowały z zabudowaną nieruchomością położoną przy ul. Jaracza 55 i przylegającą bezpośrednio do obszaru inwestycji.

Nieruchomość sąsiadującą z obszarem nowej inwestycji stanowi działka (rysunek 2) zabudowana kamienicami wzniesionymi na przełomie XIX i XX wieku, składającymi się z budynku frontowego i dwóch oficyn (fotografia), o tradycyjnej konstrukcji murowanej z cegły. Budynki w rzucie

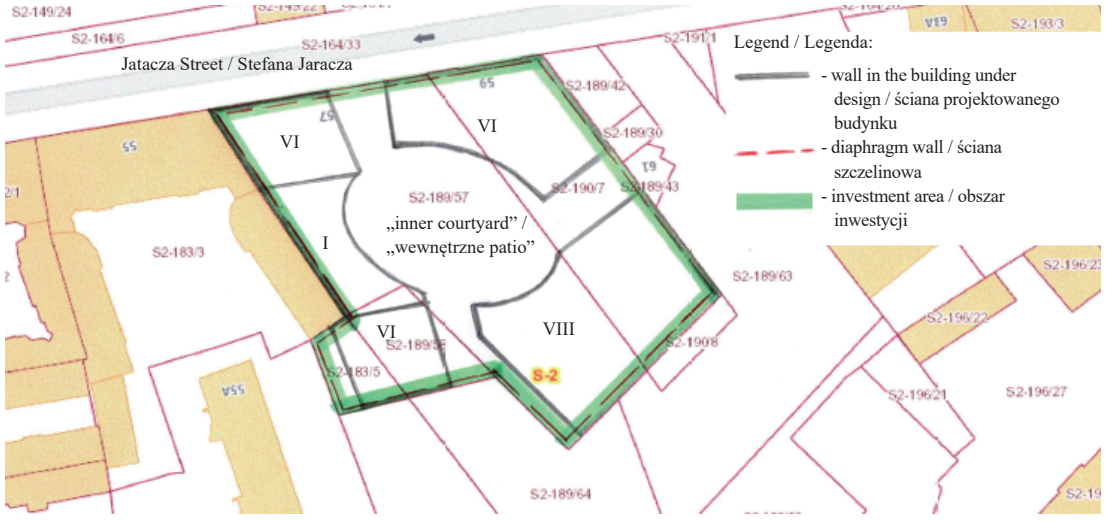


Fig. 1. Map of the investment area [15]
Rys. 1. Mapa obszaru inwestycji [15]

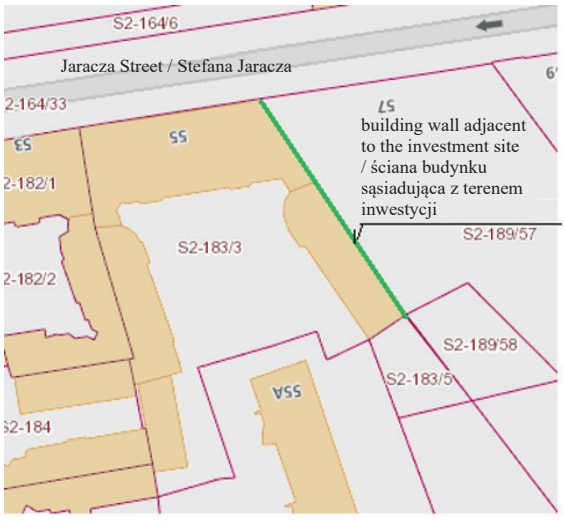


Fig. 2. Map of the property at 55 Jaracza Street in Lodz [16]
Rys. 2. Mapa nieruchomości ul. Jaracza 55 w Łodzi [16]



Orthophotomap of the property at 55 Jaracza Street in Lodz [17]
Ortofotomapa nieruchomości ul. Jaracza 55 w Łodzi [17]

The depth of the basement is approximately 2.0 m below ground level. The foundations consist of strip footings, set at a depth of approximately 1.8 m in the non-basement section and approximately 2.0 m in the basement section. The base of the foundations rests on clay, as confirmed by foundation inspection pits excavated along the side elevation for the technical assessment of the buildings – a document included as an attachment to the design documentation (Figure 4) [18]. The locations of the inspection pits and the associated excavation work (Figure 4) were selected and carried out so as not to compromise the safety of the existing building's use or damage its structure and, above all, its foundations.

Test pits 1 and 2, excavated in the section without a basement, reveal that the load-bearing wall rests on a concrete foundation with its base located 1.85 m below ground level, and the foundation features a 35 cm wide offset (Figure 4) [18]. The shape of the foundation and the founding depth are identical in both test pits. Test pits Nos. 3 and 4 show that the foundation depth at these locations is 2.00 m, and the building's foundation lacks an offset [18].

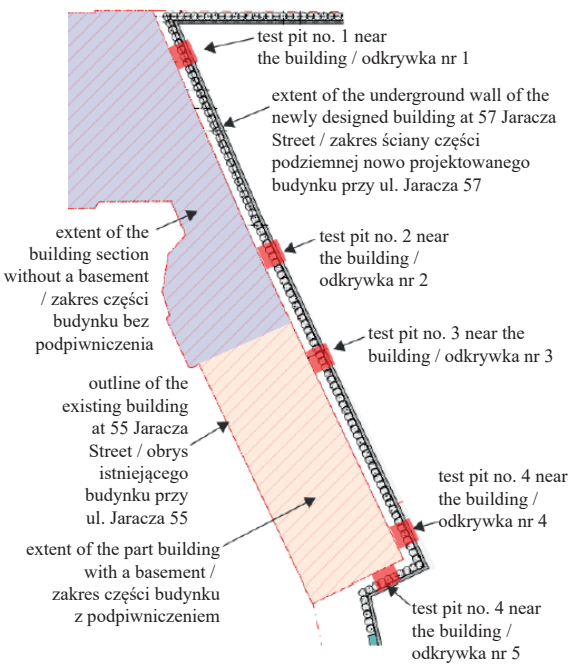


Fig. 3. Location of foundation test pits [18]
Rys. 3. Lokalizacja odkrywek fundamentowych [18]

The building's overall technical condition was assessed as "good" in the expert report. Only localized cracking was noted on the side elevation wall, but these cracks are non-structural in nature. No dampness or leaks were found in the basements, indicating the structural stability of the building under current operating conditions [18]. The expert report covered the technical condition of the building's foundations and the building itself, with the aim of determining the feasibility of planned construction work specifically, the creation of a two-story underground section of a newly designed building situated above a two-story underground garage. The footprint of the underground garage

na planie mają kształt litery „U". Oficyny przylegające do budynku frontowego (fotografia), mają 4–5 kondygnacji nadziemnych, częściowo podpiwniczonych.

Głębokość podpiwniczenia to ok. 2,0 m poniżej poziomu terenu. Fundamenty stanowią ławy fundamentowe, posadowione na głębokości ok. 1,8 m w części niepodpiwniczonej oraz ok. 2,0 m w części podpiwniczonej. Spód fundamentów posadowiony jest na glinach, co potwierdzono w wykonanych odkrywkach fundamentowych, wzdłuż elewacji bocznej, do sporządzonej ekspertyzy technicznej budynków, stanowiącej załącznik do dokumentacji projektowej (rysunek 3) [18]. Lokalizację odkrywek i prace ziemne do ich wykonania (rysunek 3), dobrano i wykonano tak, aby nie zagrażały bezpieczeństwu użytkowania istniejącego budynku, a także aby nie naruszyć jego struktury, a przede wszystkim fundamentów.

Z odkrywek 1 i 2, dokonanych w części bez podpiwniczenia, wynika, iż ściana nośna posadowiona jest na betonowym fundamencie, którego spód znajduje się 1,85 m poniżej poziomu terenu, a fundament ma odsadzkę o szerokości 35 cm (rysunek 4) [18]. Kształt fundamentu i głębokość posadowienia jest taki sam w obu odkrywkach. Z odkrywek nr 3 i 4 wynika, że głębokość fundamentu w tych miejscach wynosi 2,00 m, a fundament budynku nie posiada odsadzki [18].

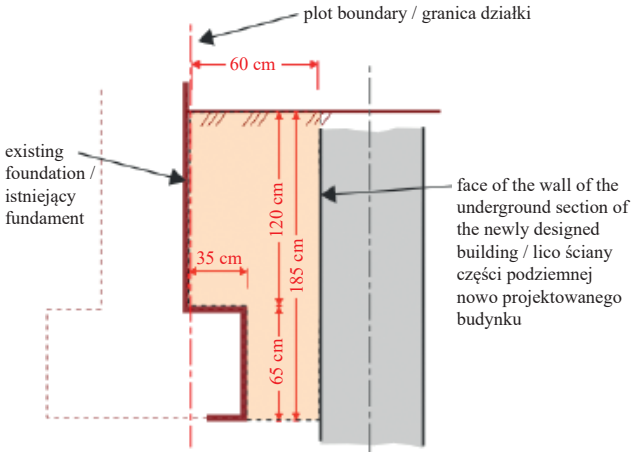


Fig. 4. Diagram showing the shape of the foundation at the locations of test pits 1 and 2 [18]
Rys. 4. Schemat pokazujący kształt fundamentu w miejscu odkrywek 1 i 2 [18]

Ogólny stan techniczny budynku oceniono w ekspertyzie jako „dobry". Odnotowano jedynie lokalne zarysowania ściany elewacji bocznej, ale nie mają one charakteru konstrukcyjnego. W piwnicach nie stwierdzono zawilgocenia ani przecieków, co świadczy o stabilnej pracy konstrukcji w dotychczasowych warunkach użytkowania [18]. Ekspertyza dotyczyła stanu technicznego posadowienia fundamentów budynku oraz stanu technicznego budynku, a jej celem było określenie możliwości przeprowadzenia planowanych prac budowlanych, polegających na wykonaniu dwukondygnacyjnej części podziemnej nowo projektowanego budynku, posadowionego na garażu podziemnym o dwóch kondygnacjach. Obrys garażu pod-

covers the entire development area (Figure 1). The underground section is being constructed using diaphragm walls, and the axis of the underground wall of the newly designed building has been set back approximately 1.0 m from the foundations of the existing building (Figure 3), which also ensured sufficient space for piling machinery. This design of the underground structure enables:

- transfer of lateral soil pressure from the direction of the existing building;
- minimization of horizontal displacements towards the excavation;
- ensuring the structural safety of the adjacent tenement building.

The technical assessment indicated the necessity of geodetic monitoring of the existing building's walls during construction work and for at least six months after its completion [18].

Risk identification

The construction of the two-level underground section of the newly designed building in the immediate vicinity of an existing tenement house entails problems arising from both the characteristics of the existing development and the soil conditions.

The tenement house is a historic structure founded at a relatively shallow depth on a concrete foundation set in clayey soil, making it quite sensitive to ground movements. The most significant risk is the potential for horizontal displacement. A technical assessment of the tenement indicates that the underground wall of the new building has been designed to minimize horizontal movement of the existing tenement's wall toward the excavation. However, creating such a deep excavation can lead to soil loosening in the near-surface zone, thereby altering stress conditions. Misinterpreting the causes of existing cracks in the tenement wall could result in a delay in detecting potential hazards. All the issues discussed are presented in Table 1, along with preventive measures; each involves an element related to displacement measurement – such as geomonitoring, displacement monitoring, or the ongoing analysis of geomonitoring data.

Geomonitoring and displacement monitoring tools

The construction contractor for the "Piano Forte" facility decided to simultaneously conduct two types of displacement measurements: tachymetric measurement using reflector targets [20] and an independent measurement using the Leica GEOSYSTEM [21] – specifically, the WiSenMeshWAN (WiSen) system [21].

Tachymetric measurement [20] is a traditional method employing a tachymeter and distance-measuring targets covered with reflective foil, mounted on the façade of the load-bearing wall undergoing displacement monitoring. These targets are lightweight plastic components affixed to the building wall, either directly to the masonry or to

ziemnego obejmuje swoim zasięgiem obszar całej inwestycji (rysunek 1). Część podziemna jest realizowana w technologii ścian szczelinowych, a oś ściany części podziemnej nowo projektowanego budynku odsunięto od fundamentów budynku istniejącego o ok. 1,0 m (rysunek 3), co zagwarantowało również miejsce dla maszyn wykonujących pale. Tak zaplanowana konstrukcja części podziemnej pozwala na:

- przeniesienie bocznego parcia gruntu od strony istniejącego budynku;
- zminimalizowanie poziomych przemieszczeń w kierunku wykopu;
- zapewnienie bezpieczeństwa konstrukcji sąsiedniej kamienicy.

Ekspertyza techniczna wskazała na konieczność prowadzenia monitoringu geodezyjnego ścian istniejącego budynku podczas wykonywania prac budowlanych i co najmniej przez 6 miesięcy po ich zakończeniu [18].

Identyfikacja ryzyka

Budowa dwukondygnacyjnej części podziemnej nowo projektowanego budynku w bezpośrednim sąsiedztwie istniejącej kamienicy wiąże się z wystąpieniem problemów wynikających zarówno z charakterystyki istniejącej zabudowy, jak i warunków gruntowych.

Kamienica jest obiektem historycznym, posadowionym dość płytko na fundamencie betonowym na podłożu gliniastym, co czyni ją dość wrażliwą na przemieszczenia podłoża. Najistotniejszym zagrożeniem jest możliwość wystąpienia poziomych przemieszczeń. Ekspertyza techniczna kamienicy wskazuje, że ściana podziemna nowego budynku została tak zaprojektowana, aby ograniczyć do minimum poziome przesunięcia ściany istniejącej kamienicy w kierunku wykopu. Z kolei wykonanie tak głębokiego wykopu może prowadzić do rozluźnienia gruntu w strefie przypowierzchniowej i tym samym zmiany warunków naprężeniowych. Błędna interpretacja przyczyn istniejących zarysowań na ścianie kamienicy może prowadzić do opóźnionego wykrycia potencjalnych zagrożeń. Wszystkie omówione problemy przedstawiono w tabeli 1 wraz ze środkami zapobiegawczymi i w każdym z nich występuje element związany z pomiarami przemieszczeń, tj. geomonitoringiem, monitoringiem przemieszczeń, czy też bieżącą analizą danych z geomonitoringu.

Narzędzia geomonitoringu oraz monitoringu przemieszczeń

Wykonawca prac budowlanych w obiekcie „Piano Forte" zdecydował się na prowadzenie jednocześnie dwóch rodzajów pomiarów przemieszczeń. Jeden to pomiar tachimetryczny przy użyciu tarcz dalmierczych [20], a drugi niezależny z wykorzystaniem systemu Leica GEOSYSTEM [21], a dokładniej WiSenMeshWAN (WiSen) [21].

Pomiar tachimetryczny [20] to tradycyjny pomiar, przy użyciu tachimetru i tarcz dalmierczych pokrytych folią refleksyjną, zamocowanych na elewacji ściany nośnej poddanej badaniu przemieszczeń. Tarcze dalmiercze to lekkie elementy

Table 1. Identification of structural risks for the tenement house at 55 Jaracza Street in Lodz
Tabela 1. Identyfikacja ryzyka konstrukcyjnego dla kamienicy przy ul. Jaracza 55 w Łodzi

Author's own work
Opracowanie: autorzy

Risk / Ryzyko	Mechanism of formation / Mechanizm powstawania	Impact on the adjacent building / Skutek dla obiektu sąsiedniego	Preventive measures / Środki zapobiegawcze
Horizontal displacements of the excavation wall / Przemieszczenia poziome ściany wykopu	deflections and displacements of the palisade/underground wall due to soil pressure / ugięcia i przemieszczenia palisady/ściany podziemnej na skutek siły gruntu	change in the stress distribution beneath foundations, wall cracking, deformations / zmiana układu naprężeń pod fundamentami, zarysowania ścian, odkształcenia	stable/rigid wall structure, work phasing, **geomonitoring** / stabilna/ sztywna konstrukcja ściany, etapowanie robót, **geomonitoring**
Differential settlement / Nierównomierne osiadanie	change in ground conditions in the near-surface zone, loosening of the soil / zmiana warunków gruntowych w strefie przypowierzchniowej, rozluźnienie gruntu	settlement, cracks in walls, local deformations / osiadanie, rysy na murach, lokalne deformacje	**displacement monitoring / monitoring przemieszczeń**
Reaction to the execution of works – piling / Oddziaływania podczas wykonywania robót - palowania	heavy construction equipment operations, earthworks / prace ciężkim sprzętem budowlanym, roboty ziemne	cracking of existing walls, worsening of existing cracks / zarysowania istniejących ścian, pogorszenie stanu istniejących pęknięć	limiting the intensity of operations, employing vibration-free piling technology, and **continuous geomonitoring** / ograniczenie intensywności robót, zastosowanie technologii palowania, w której drgania nie występują, **ciągły geomonitoring**
Incorrect assessment of the technical condition and structure of the existing building / Błędna ocena stanu technicznego i konstrukcji istniejącego budynku	underestimation of the structure's sensitivity, failure to link existing cracks to displacements / niedoszacowanie wrażliwości obiektu, brak powiązania istniejących pęknięć z przemieszczeniami	delayed response to threats, escalation of damage / opóźniona reakcja na zagrożenia, eskalacja uszkodzeń	**ongoing analysis of geomonitoring data / bieżąca analiza danych z geomonitoringu**
Cumulative effects (displacements, dewatering, vibrations) / Kumulacja oddziaływań (przemieszczenia, odwodnienie, drgania)	simultaneous occurrence of at least two unfavorable phenomena / jednoczesne występowanie co najmniej dwóch niekorzystnych zjawisk	risk of serious structural damage, necessity of costly repairs to the existing building / ryzyko poważnych uszkodzeń konstrukcji, konieczność kosztownych napraw istniejącego budynku	**continuous monitoring / ciągły monitoring**

plaster adhering tightly to it, using adhesive at the monitoring points. Figure 5 illustrates the layout of monitoring points B1–B23. This arrangement was designed to account for the two existing buildings: the front building and the rear wing. Consideration was also given to the fact that the rear wing has a partial basement. Monitoring points were therefore distributed across four levels – near the corners of the buildings (the front tenement and the rear wing) and along a vertical line marking the structural transition of the rear wing (between its basement and non-basement sections). These points are measured using a total station positioned approximately 65 m from the tenement wall – on the eastern side of the project site, at regular intervals. The position of the total station is determined each time using the three-point resection method, targeting reflectors mounted on stable structures located outside the construction site. The survey of the control points is carried out by measuring horizontal and vertical angles and distances with the telescope in two positions. Data regarding measurement temperature and atmospheric pressure are entered into the total station system prior to measurement. Based on the measurement data, the coordinates (x, y, z) of the control points are calculated, and displacements are determined relative to the initial measurement (from January 28,

z tworzywa sztucznego, zamocowane na ścianie budynku (na murze lub na tynku przylegającym ściśle do muru) za pomocą kleju w punktach kontrolowanych. Rozmieszczenie punktów kontrolowanych B1–B23 przedstawia rysunek 5. Zostało ono zaprojektowane przez projektanta w sposób uwzględniający dwa istniejące budynki – frontowy i oficynę. Uwzględniono również fakt, iż budynek oficyny jest częściowo podpiwniczony. Punkty kontrolowane rozmieszczono więc na czterech poziomach w bliskim sąsiedztwie narożników budynków (frontowego i oficyny) oraz wzdłuż pionowej linii w miejscu zmiany w konstrukcji budynku oficyny na poziomie piwnic – podpiwniczona i niepodpiwniczona. Punkty te są przedmiotem pomiaru przy użyciu tachimetru, ze stanowiska zlokalizowanego w odległości ok. 65 m od ściany kamienicy – po wschodniej stronie realizowanej inwestycji, w ustalonych odstępach czasowych. Położenie punktów stanowiska tachimetru jest wyznaczane każdorazowo metodą wcięcia wstecz na trzy punkty – tarcze dalmiercze, umieszczone na stabilnych obiektach zlokalizowanych poza obszarem realizowanej inwestycji. Badanie punktów kontrolowanych jest realizowane przez pomiar kątów poziomych, pionowych i odległości w dwóch położeniach lunety. Dane temperatury pomiaru i ciśnienia atmosferycznego są wprowadzane do systemu tachimetru przed pomiarem. Na podstawie danych pomiarowych

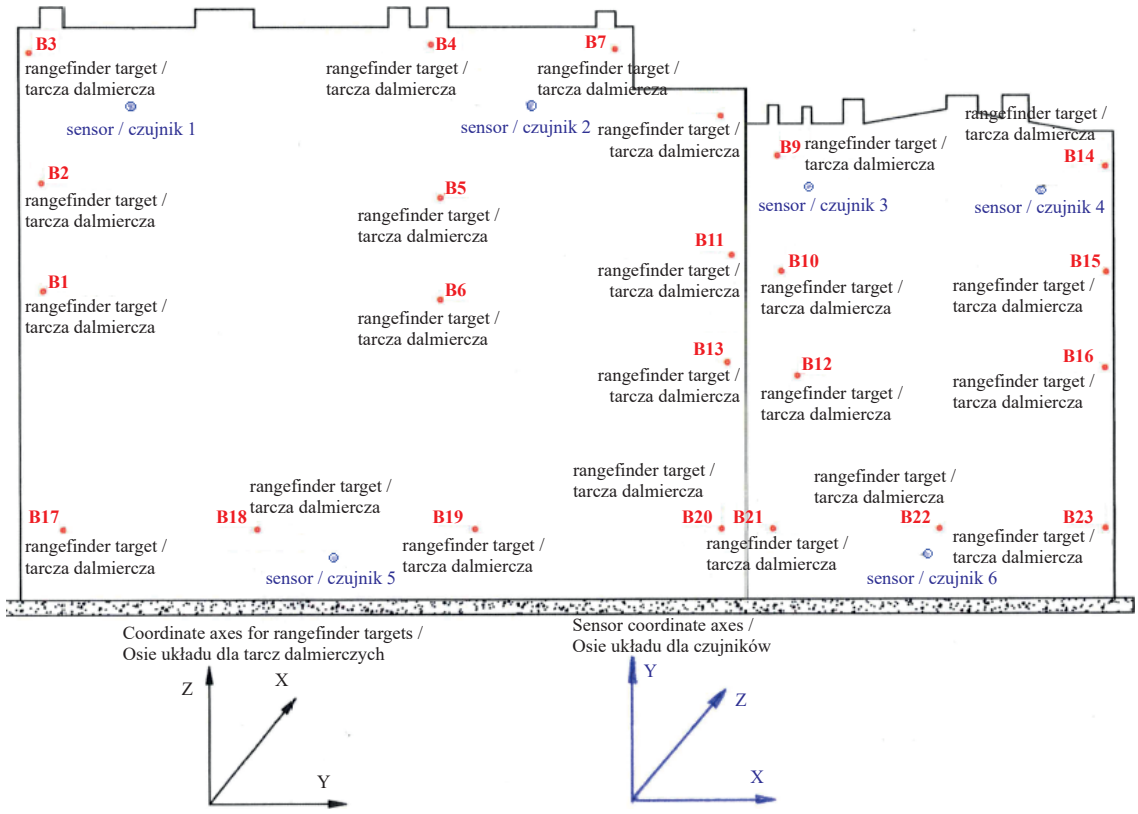


Fig. 5. Placement monitoring points for building wall displacement at the property at 55 Jaracza Street in Lodz – reflective targets and sensors

Rys. 5. Usytuowanie punktów kontrolowanych przemieszczeń ścian budynków na nieruchomości ul. Jaracza 55 w Łodzi – tarcz dalmierczych i czujników

2026) within the adopted reference system and compiled in a spreadsheet for the individual points. The measurement performed on the first day was conducted from two instrument stations with the telescope in two positions, and the averaged coordinate values were adopted as the values representing zero displacement [20].

The target plates are measured using a total station [22] at set intervals- every 7 days or more frequently, depending on the deep excavation works being carried out (e.g., diaphragm wall concreting). The measurement accuracy is 2" for angles and 2 mm + 2 ppm for reflector less distance measurements.

An analysis of the measurement data recorded in Table 2 for the period under study indicates that displacements of the rangefinder targets occurred within the 0–5 mm range along each axis of the defined reference system; these displacements were variable, showing no consistent increasing or decreasing trend. The concreting of the diaphragm wall took place between March 10 and March 25, 2026. Measurements taken during this period show no increased displacements. It should be noted that the error in determining the position of a point measured with a tachymeter [22] – given the specified angular and distance measurement accuracy – amounts to ±2.1 mm at a distance of 65 m. Tachymetric measurements using target reflectors [20] reveal varying displacements of the monitored points on the building wall during the analyzed period. Based

obliczane są współrzędne punktów kontrolowanych (x, y, z), a przemieszczenia są wyliczane w odniesieniu do pierwszego pomiaru (z 28.01.2026 r.) w przyjętym układzie odniesienia i zestawiane w arkuszu kalkulacyjnym dotyczącym poszczególnych punktów. Pomiar wykonany w pierwszym dniu został zrealizowany z dwóch stanowisk pomiarowych, w dwóch położeniach lunety, a uśrednione wartości współrzędnych przyjęto jako wartości z zerowymi przemieszczeniami [20].

Tarcze dalmiercze są przedmiotem pomiaru przy użyciu tachimetru [22] w ustalonych odstępach czasowych – 7 dni lub częściej w zależności od realizowanych robót w głębokim wykopie, np. betonowanie ściany szczelinowej. Dokładność realizowanego pomiaru wynosi: w przypadku kąta – 2", a w przypadku odległości bez użycia lustra – 2 +2 ppm.

Z analizy danych pomiarowych zapisanych w tabeli 2, dotyczących badanego okresu wynika, że występują przemieszczenia tarcz dalmierczych w przedziale 0–5 mm, w przypadku każdej z osi w zdefiniowanym układzie odniesienia i że są one zmienne – nie wykazują stałego trendu malejącego lub wzrastającego. W okresie 10–25.03.2026 r. było realizowane betonowanie ściany szczelinowej. Pomiary wykonane w tych dniach nie wykazują zwiększonych przemieszczeń. Należy podkreślić, że błąd określenia położenia punktu pomierzonego tachimetrem [22], o podanej dokładności pomiaru kąta i odległości, wyniesie ±2,1 mm w przypadku odległości 65 m. Pomiar tachimetryczny, z użyciem tarcz dalmierczych [20],

Table 2. Summary of measured displacements of reflective targets – a portion of the measurement data [20]
Tabela 2. Zestawienie pomierzonych przemieszczeń tarcz dalmierczych – część danych pomiarowych [20]

Point number / Nr punktu / Measurement date / Data pomiaru	Temperature / Temperatura	B1 [mm]			B2 [mm]			B3 [mm]			B4 [mm]			B5 [mm]			B6 [mm]		
		X	Y	Z	X	Y	Z	X	Y	Z	X	Y	Z	X	Y	Z	X	Y	Z
28.01.2026	–5°C	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
20.02.2026	0°C	–1	–1	1	–1	–1	1	0	–1	1	–1	1	0	1	0	1	–1	–1	1
27.02.2026	+10°C	1	0	2	1	0	2	–1	1	2	–1	1	2	0	0	2	1	0	2
06.03.2026	+10°C	1	–1	3	0	0	3	1	1	3	–1	2	2	0	1	3	0	1	2
13.03.2026	+8°C	–1	2	3	–1	2	3	–1	2	3	–1	2	3	0	2	3	–1	3	2
17.03.2026	+10°C	0	3	4	–1	3	4	0	3	4	–1	3	2	0	4	4	0	4	3
19.03.2026	+12°C	–2	3	1	–1	3	1	–3	2	3	–3	4	2	–2	3	4	–2	4	1
23.03.2026	+15°C	–3	3	2	–4	3	3	–2	3	3	–4	3	3	–4	4	–2	–4	4	2
27.03.2026	+10°C	–2	–4	0	–3	–2	0	–2	–2	0	–3	4	0	–1	–4	1	–1	–4	0
08.04.2026	+5°C	–4	–1	–1	–4	0	1	–4	0	1	–5	0	2	–1	4	2	–2	1	1
15.04.2026	+10°C	–2	–4	–2	–3	–3	–3	–3	–3	–3	–5	–1	1	–3	–2	3	–3	–2	1
23.04.2026	+12°C	–3	–2	–2	–3	–2	1	–3	0	3	–3	–1	1	–3	–2	3	–3	–2	1
07.05.2026	+22°C	–1	–2	0	–3	0	3	–2	0	0	–3	1	2	–3	1	1	–3	1	2
14.05.2026	+18°C	–2	–3	1	–3	–2	3	–3	–2	3	–1	2	–2	–2	0	0	–1	–1	0
21.05.2026	+25°C	–3	–3	–1	–4	–2	3	–3	–1	2	–3	–1	1	–3	–1	3	–3	–2	0
03.06.2026	+25°C	–3	–3	1	–4	–3	3	–4	–3	3	–2	–2	3	–1	–1	4	–1	–1	1

on the measurement results, the construction manager obtains information on changes occurring in the structure under observation. The settlement criterion for the tenement building specified in the design ±15–18 mm combined with displacement data from the monitored points, enables ongoing monitoring of the construction process.

The WiSen system [21] is a modern wireless geotechnical monitoring system that automatically collects data from sensors installed on the monitored structure; these sensors transmit data to a SmartGateway [21] hub. The system is fully automated. Measurements can be performed at specified intervals – either according to a schedule or in response to triggering events. System settings are adjusted remotely, allowing the monitoring intensity to be tailored to the construction work in progress. The sensors are plug-and-play devices that automatically configure themselves into a radio network upon activation. They are also equipped with internal power sources, enabling at least 10 years of maintenance-free operation. Furthermore, their IP65 – rated housings ensure resistance to weather conditions and mechanical damage. Data from the WiSen system [21] is transmitted directly to Leica GeoMoS [21] or HxGN GeoMonitoring Hub [21] software, enabling the integration of measurements with other geodetic data as well as real-time access to measurement data and analyses [21]. The initial measurement – marking the start of sensor operation, establishes the zero value within the adopted reference system; the sensor automatically detects the horizontal plane.

wykazuje więc zmieniające się przemieszczenia punktów kontrolowanych ściany budynku w analizowanym okresie. Na podstawie wyników pomiarów kierownik budowy uzyskuje informacje o zmianach zachodzących w obiekcie będącym przedmiotem obserwacji. Określone w projekcie kryterium osiadania obiektu kamienicy wynoszące ±15–18 mm oraz dane z pomiaru przemieszczeń punktów kontrolowanych pozwalają na bieżącą kontrolę procesu budowlanego.

System WiSen [21] to nowoczesny, bezprzewodowy system monitoringu geotechnicznego, automatycznie zbierający dane z czujników zainstalowanych na badanym obiekcie, które przesyłają dane do centrali SmartGateway [21]. System ten jest w pełni zautomatyzowany. Pomiary mogą być wykonywane zgodnie ze wskazanym interwałem czasowym, zarówno wg harmonogramu, jak i w reakcji na zdarzenia wyzwalające pomiar. Ustawienia w systemie dokonywane są zdalnie, co pozwala na dostosowanie intensywności monitoringu do prowadzonych prac budowlanych. Czujniki są urządzeniami typu plug-and-play, które po włączeniu automatycznie konfigurują się w sieć radiową. Są one również wyposażone w wewnętrzne źródła zasilania, które pozwalają na prace przez co najmniej 10 lat bez konieczności konserwacji. Z kolei ich obudowy o klasie IP65 zapewniają odporność na warunki atmosferyczne i uszkodzenia mechaniczne. Dane z systemu WiSen [21] są przesyłane bezpośrednio do oprogramowania Leica GeoMoS [21] lub HxGN GeoMonitoring Hub [21], co umożliwia integrację pomiarów z innymi danymi geodezyjnymi oraz bieżący dostęp do danych pomiarowych i analiz tych danych

WiSen sensors [21] are used to determine Inclination – for example, of walls relative to the horizontal plane. Inclination is measured in degrees, covering a full 360° range for any given axis, and can also be expressed in mm/m, indicating the vertical displacement (in millimeters) of a point located one meter away from the support or axis of rotation. The angular measurement accuracy is ±0.002°, with a resolution of ±0.0001°. WiSen sensors operate within a temperature range of –40°C to +85°C and feature an integrated temperature sensor that automatically transmits temperature data during measurement sessions. Temperature fluctuations affect sensor sensitivity and electronic circuit parameters; the WiSen system accounts for this through thermal compensation, which eliminates reading errors caused by changing environmental conditions.

The WiSen system sensors [21] were mounted to the exterior wall of the tenement building using screws. The installation involved a mounting plate upon which the sensor – housed in a casing – was suspended. The sensor's attachment to the wall is stable. Sensors 1 and 2 were mounted on the eastern wall of the rear building at a height of approximately 4 m below the roof, while sensors 3 and 4 were mounted on the eastern wall of the front building at a height of approximately 1 m below the roof.

These sensors have been operational since March 2, 2026. The sensor array was expanded on May 5, 2026, with two additional sensors mounted at a height of approximately 1 m above ground level: sensor no. 5, positioned midway horizontally between sensors 1 and 2, and sensor no. 6, positioned midway horizontally between sensors 3 and 4. Since these dates, the system has also provided measurement data in the form of graphs [23]. Depending on system settings, the results can be displayed in millimeters per meter with a precision of four decimal places, e.g., 0.1767.

In the WiSen system [21, 23], measurement results are available on a daily basis. Measurements are performed in real time according to scheduled measurement sessions. The results are recorded and available for viewing in the form of tables and graphs. From the graph, one can read the measurement date, the sensor number, and the axial displacement within a defined reference system. The graphs also display lines representing the established limit values of ±1 mm, highlighted in red (Figure 6).

The graphs for sensors 2 and 4 show that displacements along the X-axis (parallel to the building wall) oscillate around zero, whereas along the Z-axis (defined as wall deflection), they vary but do not exceed ±0.5 mm. Pile concreting as part of the diaphragm wall construction was carried out between March 10 and 25, 2026. No significant changes to nearby structures were observed.

Based on the graphs (Figure 7) generated for the period of June 6–20, 2026, displacements along the X-axis show a change of –0.2 mm compared to the period analyzed in March of that year, while displacements along the Z-axis do not exceed ±0.5 mm. However, a consistent negative shift is noticeable for sensor no. 4, though the displacement values remain within the ±1 mm range.

[21]. Pierwszy pomiar – uruchomienie pracy czujnika, stanowi wartość zerową w przyjętym układzie odniesienia; czujnik automatycznie wykrywa płaszczyznę poziomą.

Czujniki WiSen [21] służą do określenia nachylenia, np. ścian, względem płaszczyzny poziomej. Nachylenie jest mierzone w stopniach, w pełnym zakresie 360° w przypadku dowolnej osi i może być podane w mm/m, co oznacza o ile milimetrów przemieszcza się (pionowo) punkt oddalony o metr od podpory lub osi obrotu. Dokładność pomiaru kąta wynosi ±0,002°, a rozdzielczość ±0,0001°. Czujniki WiSen pracują w przedziale temperatury od –40°C do +85°C, zawierają zintegrowany czujnik temperatury, który wysyła automatycznie informację o temperaturze w sesjach pomiarowych. Wahania temperatury wpływają na czułość sensorów oraz parametry układów elektronicznych i są uwzględniane w systemie WiSen przez kompensację termiczną, która pozwala eliminować błędy odczytów spowodowane zmianami warunków otoczenia.

Czujniki systemu WiSen [21] zostały zamocowane do ściany zewnętrznej kamienicy za pomocą śrub. Przedmiotem montażu była płytka, na której zawieszono czujnik w obudowie. Mocowanie czujnika do ściany jest stabilne. Czujniki o numerach 1–2 zostały zamocowane na ścianie wschodniej budynku oficyny na wysokości ok. 4 m od dachu, a czujniki 3 i 4 na ścianie wschodniej budynku frontowego na wysokości ok. 1 m od dachu.

Czujniki te pracują od 2.03.2026 r. Zestaw czujników został powiększony 5.05.2026 r. o 2 kolejne czujniki zamocowane na wysokości ok. 1 m od poziomu terenu: czujnik nr 5 w połowie poziomej odległości pomiędzy czujnikami 1 i 2 oraz czujnik nr 6 w połowie poziomej odległości między czujnikami 3 i 4. Od podanych dat system udostępnia dane pomiarowe również w postaci wykresów [23]. Wyniki, w zależności od ustawień dokonanych w systemie, mogą być podawane w milimetrach/metr z dokładnością do czterech cyfr po przecinku, np. 0,1767.

W systemie WiSen [21, 23] wyniki pomiarów są dostępne każdego dnia. Pomiar jest realizowany w czasie rzeczywistym wg ustawionych sesji pomiarowych. Wyniki te są zapisywane i dostępne do wyświetlenia w postaci tabeli oraz wykresów. Z wykresu możemy odczytać: datę pomiaru; numer czujnika; przemieszczenie osi w zdefiniowanym układzie odniesienia. Na wykresach widoczne są również linie przyjętych wartości granicznych ±1 mm, wyróżnione kolorem czerwonym (rysunek 6).

Z obrazu wykresów dotyczących czujników nr 2 i 4 w przypadku osi X, czyli wzdłuż ściany budynku, przemieszczenia oscylują wokół wartości 0, natomiast w przypadku osi Z, zdefiniowanej jako odchylenie ściany, są zróżnicowane, ale nieprzekraczające wartości ±0,5 mm. W terminie 10–25.03.2026 r. realizowane było betonowanie pali w ramach budowy ściany szczelinowej. W sąsiedztwie budowy nie stwierdzono istotnych zmian w obiektach.

Z wykresów (rysunek 7) wygenerowanych w okresie 6–20.06.2026 r. w przypadku osi X, przemieszczenia wykazują zmianę o –0,2 mm w porównaniu z analizowanym okresem w marcu tego roku, a przemieszczenia wzdłuż osi Z nie przekraczają wartości ±0,5 mm. Zauważalna jest jednak stała zmiana ze znakiem minus w przypadku czujnika nr 4, ale wartości przemieszczeń nadal mieszczą się w przedziale ±1 mm.

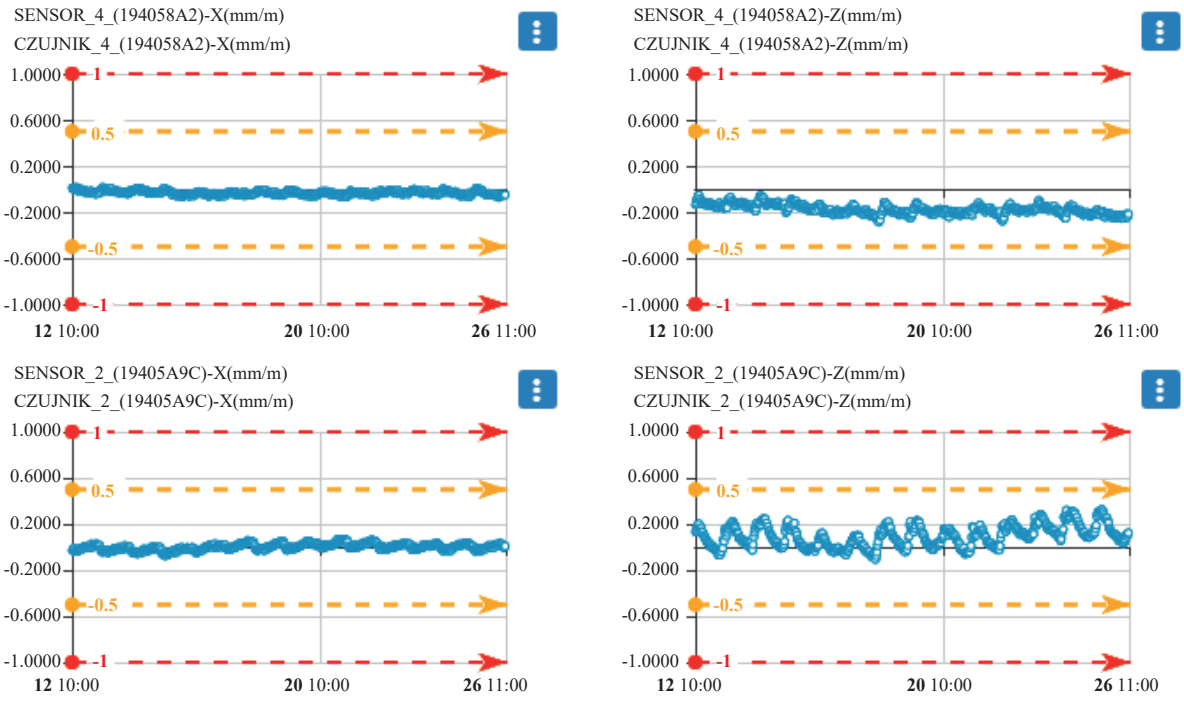


Fig. 6. Plots generated in the WiSen system for sensors no. 2 and 4 for the period of March 12–26, 2026
Rys. 6. Wykresy wygenerowane w systemie WiSen w przypadku czujników nr 2 i 4 w terminie 12-26.03.2026 r.

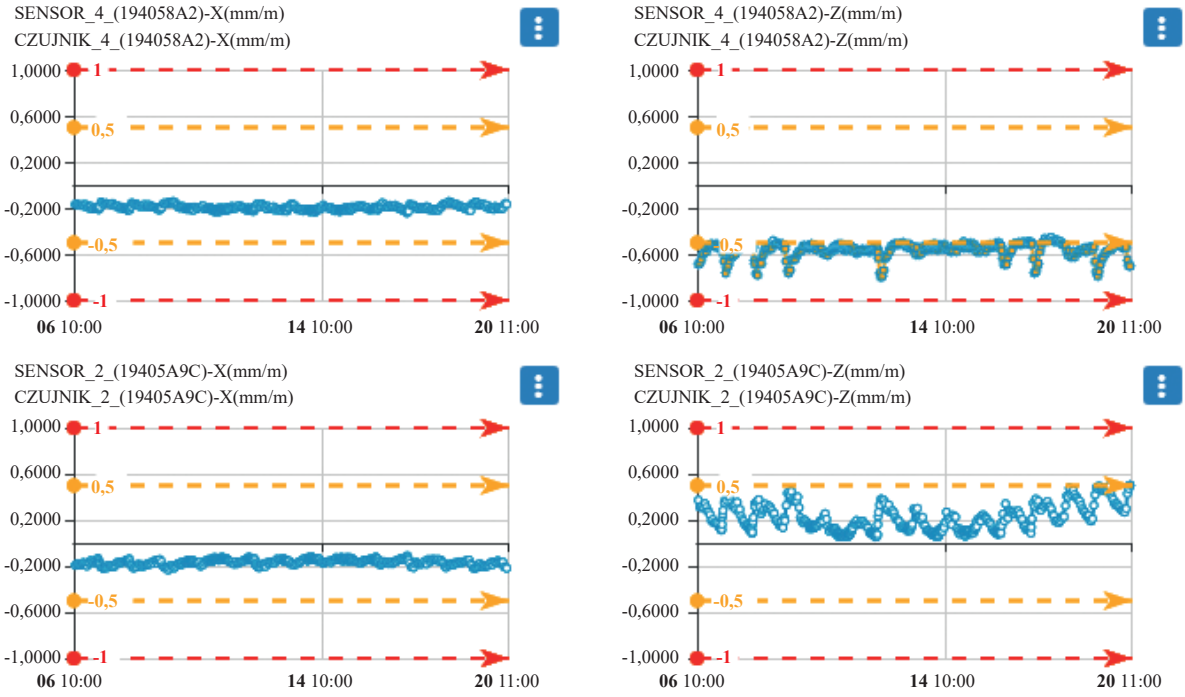


Fig. 7. Plots generated in the WiSen system for sensors No. 2 and 4 for the period of June 6–20, 2026
Rys. 7. Wykresy wygenerowane w systemie WiSen w przypadku czujników nr 2 i 4 w terminie 06-20.06.2026 r.

For each tenement building (street-facing and rear wings), one sensor was selected – specifically one providing data accessible via the WiSen system – to demonstrate data visualization; the selection was also based on the sensors having been active since March 2, 2026. A detailed data analysis will be conducted once measurements at the site are complete.

W przypadku każdej kamienicy (front i oficyna) wybrano po jednym czujniku, którego dotyczyły informacje dostępne w systemie WiSen w celu pokazania sposobu wizualizacji danych oraz spośród tych, które pomiar wykonywały od 2.03.2026 r. Szczegółowa analiza danych zostanie dokonana po zakończeniu pomiaru na obiekcie.

Summary and conclusions

To monitor the structure adjacent to the deep excavation works for the new "Piano Forte" development at 57 Jaracza Street in Lodz, two different monitoring methods were employed to ensure independent verification of the results. The measurements showed no significant changes during the monitoring period. Depending on the measurement method, the recorded displacements fell within the established limit values (the settlement of the tenement house specified in the construction design was ±15–18 mm).

The WiSen monitoring system [21, 23] enables:

- continuous and automatic measurements without the need for manual intervention;
- automatic data analysis and the generation of notifications if system-defined threshold values are exceeded;
- real-time monitoring of results;
- efficient sharing of results with selected stakeholders, including clients.

It also enables rapid decision-making, such as the decision to install additional sensors on the building wall based on analysis results.

In contrast, **the tachymetric measurement method** [20] yields results characterized by the following:

- measurements involve manual intervention – each reading is taken by a surveyor and is subject to measurement error;
- the values obtained may be influenced by the method used to attach the distance-measuring targets to the structure's wall.

An analysis of the tenement house at 55 Jaracza Street indicates that effectively mitigating structural risk requires a multi-stage approach – encompassing the design phase, the period prior to the commencement of construction work, the execution phase, and the post-construction period. Employing methods to verify structural displacements through properly designed and implemented monitoring (or geomonitoring) is fundamental to minimizing the risks associated with protecting existing structures in the vicinity of deep excavations. Correct interpretation of data obtained from measurements of the structure makes it possible to establish the actual cause-and-effect relationship behind the damage; when combined with a current assessment of the structure, this enables appropriate decisions regarding the course of further action. At the current stage of construction work (July 2026), it is too early to formulate guidelines for further steps or to evaluate the feasibility of using alternative (more precise) measurement methods for the structure in question.

At a later stage of construction or upon completion of the project, an attempt will be made to identify such guidelines or recommendations based on the full measurement results and the analysis of displacement stabilization.

Podsumowanie i wnioski

W celu monitorowania obiektu w sąsiedztwie realizacji głębokich wykopów nowo realizowanego obiektu „Piano Forte" w Łodzi przy ul. Jaracza 57, zastosowano dwie różne metody monitorowania, aby zapewnić niezależną weryfikację wyników. Wyniki pomiarów nie wykazały istotnych zmian w badanym okresie. W zależności od metody pomiaru wielkości pomierzonych przemieszczeń mieszczą się w przedziale przyjętych wartości granicznych (osiadanie kamienicy określone w projekcie budowlanym ±15–18 mm).

System monitoringu WiSen [21, 23] pozwala na:

- prowadzenie ciągłych i automatycznych pomiarów bez konieczności ręcznej ingerencji;
- automatyczne analizowanie danych i generowanie powiadomień w przypadku przekroczenia przyjętych w systemie wartości granicznych;
- bieżący monitoring wyników on-line;
- sprawne udostępnianie wyników wybranym interesariuszom, w tym klientom.

Umożliwia również szybkie podjęcie decyzji, np. o zamontowaniu kolejnych czujników na ścianie budynku, na podstawie wyników analiz.

Metoda pomiaru tachimetrycznego [20] daje natomiast wyniki, w przypadku których:

- pomiary są obarczone ręczną ingerencją – pomiar wykonywany każdorazowo przez geodetę i obarczony błędem pomiarowym;
- na ich wielkość może mieć wpływ sposób mocowania tarcz dalmierczych do ściany obiektu.

Analiza kamienicy przy ul. Jaracza 55 wskazuje, że skuteczne zmniejszenie ryzyka konstrukcyjnego wymaga wieloetapowego podejścia, a więc na etapie projektu, przed rozpoczęciem robót budowlanych, w trakcie ich realizacji oraz po zakończeniu budowy. Zastosowanie metod weryfikacji przemieszczeń obiektu przez właściwie zaprojektowany i prowadzony monitoring/geomonitoring to podstawa ograniczenia ryzyka związanego z ochroną zabudowy w sąsiedztwie głębokich wykopów. Właściwa interpretacja danych uzyskiwanych z pomiarów obiektu umożliwia ustalenie rzeczywistego związku przyczynowo-skutkowego powstania uszkodzeń, a w połączeniu z aktualną oceną obiektu, umożliwia podjęcie właściwych decyzji dotyczących sposobu dalszego postępowania. Na obecnym etapie realizacji prac budowlanych (lipiec 2026) w przypadku analizowanego obiektu zbyt wczesne jest formułowanie wytycznych dotyczących dalszych działań oraz oceny możliwości zastosowania alternatywnych (bardziej precyzyjnych) metod pomiarowych.

Na dalszym etapie prac budowlanych lub po zakończeniu inwestycji zostanie podjęta próba wskazania takich wytycznych/zaleceń na podstawie pełnych wyników pomiarów i analizy stabilizacji przemieszczeń.

Received: 16.06.2026
Revised: 10.08.2026
Published: 21.10.2026

Artykuł wpłynął do redakcji: 16.06.2026 r.
Otrzymano poprawiony po recenzjach: 10.08.2026 r.
Opublikowano: 21.10.2026 r.

Literature

[1] Janusz J. Wyznaczenie parametrów krzywizn ugięcia fundamentów, Prace Instytutu Geodezji i Kartografii, 1999, tom XLVI, zeszyt 98.

[2] Popielski P. Oddziaływanie głębokich posadowień na otoczenie w środowisku zurbanizowanym. Prace Naukowe PW, Inżynieria Środowiska, 2012.

[3] Siemińska-Lewandowska A. Głębokie wykopy. Projektowanie i wykonawstwo. Warszawa. Wydział Komunikacji i Łączności. 2010.

[4] Kotlicki W, Łukasik S, Godlewski T, Bogusz W. Instrukcja ITB 376/2020 Ochrona zabudowy w sąsiedztwie głębokich wykopów.

[5] Bogusz W, Godlewski T. Geotechnical interaction in underground space – theory and practice. W C. Madryas et al. (red.). Underground Infrastructure of Urban Areas 4, 2017. Wrocław: CRS Press, Taylor & Francis Group.

[6] Godlewski T, Niemyjska M. Ryzyko geotechniczne w projektowaniu i realizacji głębokich wykopów, 2018, Acta Scientiarum Polonorum – Architectura 17 (3), 27-36, DOI: 22630/ASPA. 2018.17.3.26.

[7] Siemińska-Lewandowska A. Głębokie wykopy. Projektowanie i wykonawstwo. 2010. Warszawa: Wydawnictwo Komunikacji i Łączności.

[8] Godlewski T. Oddziaływanie w przestrzeni podziemnej obiektów w warunkach infrastruktury miejskiej, przykład z metra warszawskiego. 2016. Geoinżynieria: Drogi, Mosty, Tunele, 3 (56), 70–76.

[9] Zaczek-Peplińska J, Popielski P. Analiza metod pomiarowych badania zachowania gruntu i obiektów budowlanych w rejonie realizacji inwestycji o różnym charakterze oddziaływań, 2012. Czasopismo Techniczne, Wydawnictwo Politechniki Krakowskiej, S.199-218.

[10] Rozporządzenie Ministra Rozwoju z 18.08.2020 r. w sprawie standardów technicznych wykonywania geodezyjnych pomiarów sytuacyjnych i wysokościowych oraz opracowywanie i przekazywanie wyników tych pomiarów do państwowego zasobu geodezyjnego i kartograficznego.

[11] Przewłocki S. Geomatyka, 2008. Wydawnictwo Naukowe PWN, Warszawa.

[12] Królikowski J. Na wszelki wypadek, system – Zestawienie systemów monitoringu geodezyjnego, Geodeta – Magazyn Geoinformacyjny, 2012, vol. 9.

[13] Pasternak G. Geodetic monitoring of geotechnical structures displacements: a case study of Radiowo landfill site in Warsaw, 2022, Acta Scientiarum Polonorum – Architectura21 (2), 75-83, DOI: 0.22630/ASPA.2022.21.2.16.

[14] Buranbayeva AM, Zhussupbekov AZh, Omarov AR. Numerical analysis and geomonitoring of behaviour of foundation of Abu-Dhabi Plaza in Nur-Sultan, Deep Foundations and geotechnical problems of territories (DFGC 2021), Volume 1928, DOI:10.1088/1742-6596/1928/1/012033.

[15] Opracowanie własne na podstawie: https://mapa.lodz.pl/mapaogolna/, dostęp: 21.06.2026.

[16] https://mapa.lodz.pl/mapaogolna/, dostęp: 21.06.2026.

[17] https://mapy.geoportal.gov.pl/imap/, dostęp: 21.06.2026.

[18] Dokumentacja projektowa budowy budynku mieszkalnego wielorodzinnego z lokalami usługowymi, garażem podziemnym oraz niezbędną infrastrukturą techniczną zlokalizowanego w Łodzi przy ul. Jaracza 57, Inwestor: Real Development Group Sp. z o.o., Sp.k.

[19] https://www.google.com/maps – widok Street View, dostęp 30.06.2026.

[20] Operat z monitoringu przemieszczeń punktów odniesienia – tarcz dalmierczych, dokumentacja udostępniona przez wykonawcę prac budowlanych Unibep S.A. z siedzibą w Bielsku Podlaskim.

[21] https://leica-geosystems.com/products/total-stations/systems/geotechnical-sensors/wisen-wireless-geotechnical-monitoring-systems (dostęp: 06.06.2026).

[22] https://leica-geosystems.com/products/total-stations/robotic-total-stations/leica-ts13 , dostęp 30.06.2026.

[23] Dokumentacja pomiarowa z pomiaru przemieszczeń w systemie Leica GEOSYSTEM udostępniona przez firmę Pracownia Geodezyjna Marcin Kaźmierczak.