

dr hab. inż. Paweł Popielski, prof. PW^{1*)}

ORCID: 0000-0002-5425-5821

mgr inż. Aleksander Rajkowski²⁾

dr inż. Łukasz Kaczmarek¹⁾

ORCID: 0000-0001-5207-3816

prof. dr hab. inż. Małgorzata Wojtkowska¹⁾

ORCID: 0000-0003-2940-8598

dr inż. Jacek Stasiński¹⁾

ORCID: 0000-0002-8447-8970

dr inż. Ewa Świerczyńska³⁾

ORCID: 0000-0003-1987-1263

Geological-engineering determinants of groundwater leakage in an urban area

Uwarunkowania geologiczno-inżynierskie przecieków na terenie zurbanizowanym

DOI: 10.15199/33.2025.04.04

Abstract: This case study focuses on building explanation challenges due to leaks in the underground part and flooding of cable ducts. The building in question is a tall building type located in one of the major rainwater accumulation zones. This is of the shape of the micro-catchment area, the location in an urban area, and the foundation in the zone of fluctuation of the groundwater table. In a metropolitan area, such problems are often a consequence of the superposition of unfavourable geological and technical conditions, the shape and sealing of the rainwater catchment area, leaking infrastructure, as well as the presence of deeply sited buildings and underground infrastructure that adversely alters the natural groundwater conditions. We use an interdisciplinary research approach to explain the exemplary exploitation problem. The results enable a thorough recognition of the groundwater conditions and analysis of rainwater runoff in this densely built-up area of historical-cultural value.

Keywords: urbanized environment; groundwater conditions; hydrogeology; electrical resistivity tomography; subsoil; rainwater; micro basin.

A common and burdensome issue associated with the operation of buildings located in highly urbanized areas – particularly those with deeply embedded underground levels – is groundwater, which can periodically infiltrate the building or even flood the basements [1÷3]. The typical causes of such phenomena include geological structure and hydrogeological conditions (including local infiltration of stormwater associated with surface runoff), as well as the condition of underground infrastructure (primarily water supply and sewage systems) [4, 5]. These problems in urban environments often result from the superposition of unfavorable geological and engineering conditions, catchment surface sealing, infrastructure leakages, and the presence of deep-founded structures that significantly disturb the natural soil-water regime.

¹⁾ Politechnika Warszawska, Wydział Instalacji Budowlanych, Hydrotechniki i Inżynierii Środowiska

²⁾ Inżynieria Rzeszów S.A.

³⁾ Politechnika Warszawska, Wydział Geodezji i Kartografii

^{*)} Correspondence address: pawel.popielski@pw.edu.pl

Streszczenie: W artykule przedstawiono problemy eksploatacyjne budynku powstałe na skutek przecieków w części podziemnej i zalewania kanałów kablowych. Przedmiotowy obiekt to budynek wysoki, zlokalizowany w strefie gromadzenia się wody opadowej spowodowanego ukształtowaniem mikrozwlewni, położeniem na terenie zurbanizowanym i posadowieniem fundamentów w strefie wahań zwierciadła wody gruntowej. W obszarze miejskim podobne problemy stanowią zwykle konsekwencję nałożenia się niekorzystnych uwarunkowań geologiczno-inżynierskich, kształtu i uszczelnienia powierzchni zlewni wód opadowych, nieszczelności infrastruktury, jak również obecności głęboko posadowionych budynków i infrastruktury podziemnej, które niekorzystnie zmieniają naturalne warunki gruntowo-wodne. Do analizy podjętego problemu zastosowano szeroki wachlarz współczesnych metod badawczych (wiercenia rozpoznawcze, monitoring wód podziemnych, tomografię elektrooporową, badania in situ właściwości fizycznych wody, laboratoryjne badania składu chemicznego wody). Uzyskane rezultaty umożliwiają wszechstronne rozpoznanie warunków gruntowo-wodnych i określenie wpływu wód opadowych na tym gęsto zabudowanym obszarze o historycznych walorach kulturowych.

Słowa kluczowe: środowisko zurbanizowane; warunki gruntowo-wodne; hydrogeologia; tomografia elektrooporowa gruntu; podłoże gruntowe; wody opadowe; mikrozwlewnia.

Częstym i uciążliwym problemem związanym z eksploatacją budynków, zlokalizowanych na obszarach o wysokim stopniu urbanizacji, zwłaszcza posiadających głęboko posadowione kondygnacje podziemne, są wody gruntowe, które mogą okresowo przeciekać do budynku, czy nawet zalewać piwnice [1÷3]. Przyczyny takich zjawisk to zazwyczaj budowa geologiczna oraz warunki hydrogeologiczne (w tym lokalna infiltracja wód opadowych związana ze spływem powierzchniowym), jak również stan infrastruktury podziemnej (przede wszystkim sieci i instalacji wodno-kanalizacyjnych) [4, 5]. Tego typu problemy w terenie zurbanizowanym często stanowią efekt nałożenia się niekorzystnych warunków geologiczno-inżynierskich, kształtu i uszczelnienia powierzchni zlewni wód opadowych, nieszczelności infrastruktury oraz obecności głęboko posadowionych budynków, których część podziemna w znacznym stopniu zmienia naturalne warunki gruntowo-wodne.

W artykule przeanalizowano przypadek wysokiego budynku pozostającego w użytkowaniu Politechniki Warszaw-

This article presents a case study of a high-rise building utilized by Warsaw University of Technology, located at 20 Nowowiejska Street. In addition to issues related to internal installations and the formation of a micro-catchment (due to surrounding development), the key role is played by specific geological and engineering conditions that determine the presence and dynamics of groundwater. The identified operational issue is used to demonstrate modern methods for recognizing soil-water conditions.

The selected case concerns a building situated in a densely built-up central district of Warsaw, within a protected zone of significant architectural value (Register of Historical Monuments No. 676). The building has a footprint of approximately 62×20 m [6]. Constructed in the 1970s, it was founded on concrete strip footings with water-sealing additives and a damp-proof membrane, situated at a depth of approximately 4 m below ground level, i.e., at an elevation of ~ 110.5 m a.s.l. (featuring a single underground level). It is bordered to the south by a tram line and Nowowiejska Street, to the west by a four-story residential-museum building (22 Nowowiejska St.), to the northwest by green spaces and another four-story building of the Faculty of Physics (75 Koszykowa St.), to the northeast by green space, and to the east by a three-story building (Mechanics Building, 75 Koszykowa St.) and an inner courtyard beyond which lies a two-story facility (Old Boiler House, 20 Nowowiejska St.). The area surrounding the building features a complex underground utility network. Figure 1 shows the study area location.

The basement flooding occurs primarily via concrete installation and cable ducts (due to structural discontinuities)

skiej, położonego przy ul. Nowowiejskiej 20, w którym oprócz stwierdzonych problemów z instalacjami wewnętrznymi oraz wytworzeniem mikrozewni (przez otaczającą zabudowę), kluczową rolę odgrywają specyficzne warunki geologiczno-inżynierskie determinujące występowanie wód gruntowych. Wyjaśnienie stwierdzonego problemu eksploatacyjnego zostało wykorzystane do zademonstrowania współczesnych metod służących rozpoznawaniu warunków gruntowo-wodnych.

Wybrany przypadek dotyczy budynku położonego w gęsto zabudowanym śródmieściu Warszawy, na terenie chronionym, o szczególnych walorach architektonicznych (nr 676 w rejestrze zabytków). Jego wymiary w planie to ok. 62×20 m [6]. Budynek wzniesiony został w latach siedemdziesiątych XX wieku, na ławach fundamentowych (wykonanych z betonu z domieszką wodouszczelniacza) z izolacją przeciwwilgociową, posadowionego na głębokości ok. 4 m p.p.t., tj. na przybliżonej rzędnej $\sim 110,5$ m n.p.m. (ma jedną kondygnację podziemną). Sąsiaduje od południa z linią tramwajową i ulicą Nowowiejską, od zachodu z czterokondygnacyjnym budynkiem mieszkalno-muzealnym (Nowowiejska 22), od północnego zachodu z terenami zielonymi oraz budynkiem także czterokondygnacyjnym Wydziału Fizyki PW (ul. Koszykowa 75), od północnego wschodu z terenem zielonym, a od wschodu z budynkiem trzykondygnacyjnym (Gmach Mechaniki PW, ul. Koszykowa 75) i dziedzińcem wewnętrznym, za którym położony jest budynek dwukondygnacyjny (Gmach Starej Kociołowni, ul. Nowowiejska 20). Teren wokół budynku PW WIBHIŚ ma rozbudowaną infrastrukturę podziemną. Rysunek 1 przedstawia lokalizację obszaru prowadzonych badań.

Problem podtapiania piwnic przez zalewanie betonowych kanałów instalacyjnych i kanałów kablowych (nieciągłości

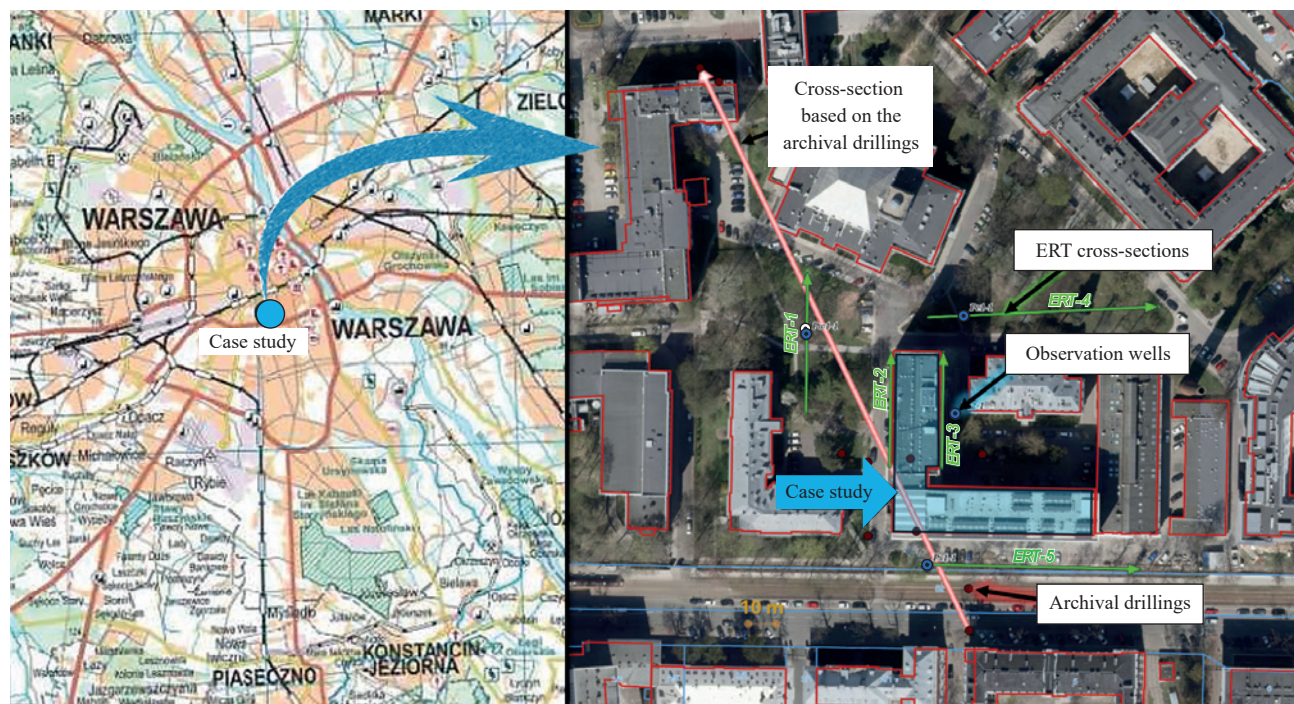


Fig. 1. Field study location and research documentation map in the area of the Warsaw University of Technology high-rise building at Nowowiejska Street 20, Warsaw

Rys. 1. Lokalizacja przedmiotu analizy oraz mapa dokumentacyjna badań w rejonie budynku wysokiego PW przy ul. Nowowiejskiej 20, w Warszawie

as a result of increased water infiltration into the subsoil and temporary rises in the groundwater table. This phenomenon was most intensively observed in the central part of the building (Figure 1), particularly on the western and eastern sides.

Investigation Procedure and Results

To assess the geological and engineering conditions of the site, profiles from ten archival boreholes were analyzed. A hydrogeological cross-section was constructed based on these data, which guided the design of observation wells and complementary geophysical investigations. A monitoring network consisting of five piezometers was established, and five geoelectrical cross-sections were generated via electrical resistivity tomography (ERT).

Analysis of Archival Data. Based on available sources [7÷12], compiled from the Polish Geological Institute – National Geological Survey database and archival borehole logs, a hydrogeological cross-section through the analyzed building was developed (Figure 2). This conceptual graphical model indicates several meters of permeable sandy soils (glaciofluvial in origin; anthropogenic fill may also be present) in the northwest section, where groundwater issues were observed. Below this layer lie impermeable glacial clay soils, underlain – at depths exceeding a dozen meters – by additional glaciofluvial sands in the form of stratified lenses with limited horizontal continuity. These form a deeper Quaternary aquifer.

The surficial sandy soils are in hydraulic contact with the foundation backfill (sand-based), particularly in the northern

konstrukcyjne obudowy kanałów), wskutek wzmożonej infiltracji wody w grunt i czasowego podnoszenia się poziomu wód gruntowych, najbardziej intensywnie zarejestrowano w strefie środkowej budynku (rysunek 1) od strony zachodniej i wschodniej.

Procedura badań i wyniki

W celu oceny uwarunkowań geologiczno-inżynierskich przedmiotowego budynku przeprowadzono analizę profili dziesięciu wierceń archiwalnych. Na ich podstawie wykonano przekrój hydrogeologiczny, który posłużył do zaprojektowania otworów obserwacyjnych i geofizycznych badań komplementarnych, zrealizowano sieć monitoringową wód gruntowych (pięć piezometrów) oraz wykonano prospekcję tomografią elektrooporową (pięć przekrojów geoelektrycznych).

Analiza materiałów archiwalnych. Na podstawie dostępnych źródeł [7÷12], zidentyfikowanych w bazie danych Państwowego Instytutu Geologicznego – Państwowej Służby Geologicznej i zestawionych archiwalnych wyników wierceń opracowano przekrój hydrogeologiczny przechodzący przez część przedmiotowego budynku (rysunek 2). Ten koncepcyjny model graficzny ośrodka gruntowego wskazuje na obecność kilku metrów przepuszczalnych gruntów piaszczystych (wodnolodowcowych; mogą występować także nasypy), jest to obszar na północny zachód od budynku, gdzie stwierdzono problemy. Poniżej tych gruntów znajdują się glacialne gliniaste grunty nieprzepuszczalne, pod którymi, na głębokości kilkunastu metrów, położone są również wodnolodowcowe

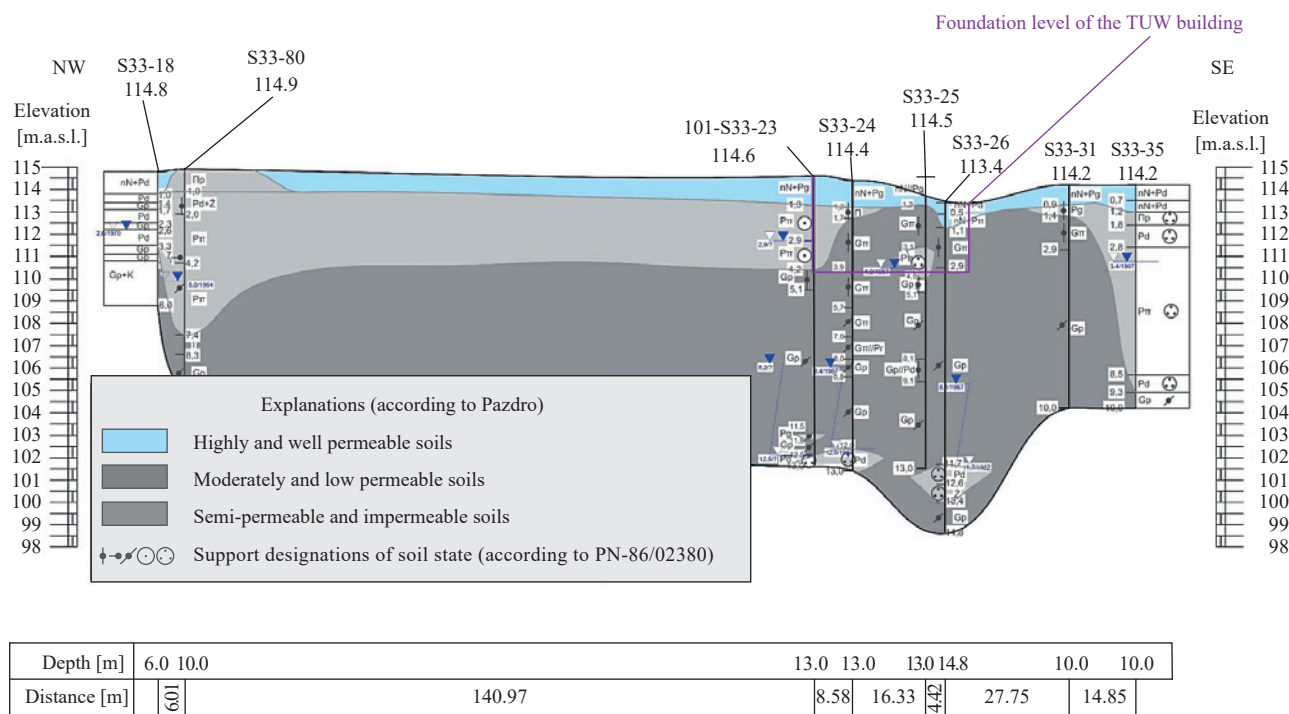


Fig. 2: Hydrogeological cross-section based on archival drilling profiles in the area of the subject building

Rys. 2. Przekrój hydrogeologiczny opracowany na podstawie archiwalnych profili wierceń w rejonie przedmiotowego budynku

part of the building (founded on sand), whereas the southern section rests on clay. This results in the greatest local thickness of permeable formations beneath the structure within the micro-catchment area (Figure 3).

Surface and groundwater flow is directed from the northwest toward the building at 20 Nowowiejska Street (Figure 4). Due to the anthropogenic origin of the excavation, the site acts as a “basin”, into which surface and infiltrated stormwater accumulates.

Stormwater. In permeable surficial sandy soils, a groundwater table typically forms that is subject to seasonal fluctuations and spatial variability due to the structure of the underlying impermeable formations. Groundwater is recharged primarily by stormwater, making its dynamics closely linked to surface runoff patterns, which in urban settings depend heavily on land development. Inflows may also result from leakage in the water-sewer infrastructure. In the analyzed area, urban development has established a distinct surface runoff direction

piaski w formie charakterystycznych przewarstwień o ograniczonej horyzontalnej rozciągłości. Jest to głębszy poziom wód czwartorzędowych.

Grunty piaszczyste, które występują powierzchniowo, są w kontakcie hydraulicznym z gruntami (także piaskami) stanowiącymi obsypkę i podsypkę ław fundamentowych, które w części północnej zostały posadowione na piaskach, a południowej na glinach. Taka sytuacja powoduje największą lokalną miąższość utworów przepuszczalnych pod przedmiotowym budynkiem w obszarze analizowanych mikrozelewni (rysunek 3). Splyw wód powierzchniowych oraz gruntowych kieruje się z północnego zachodu w obszar budynku przy ul. Nowowiejskiej 20 (rysunek 4). Z powodu antropogenicznej genezy wykopu fundamentowego obszar ten przypomina „wannę”, do której spływają powierzchniowe wody opadowe oraz w efekcie infiltracji – wody gruntowe.

Wody opadowe. W przypadku przepuszczalnych gruntów piaszczystych zalegających powierzchniowo ustala się za-

zwyczaj poziom wody gruntowej, który cechuje się dużą zmiennością w zależności od sezonu oraz zróżnicowaniem przestrzennym związanym ze strukturą podścielających utworów nieprzepuszczalnych. Wody gruntowe zasilane są wodami opadowymi, stąd ich relacja ze splywem powierzchniowym, który w środowisku miejskim związany jest z zagospodarowaniem powierzchni terenu. Różnego rodzaju dopływy także mogą być konsekwencją nieszczelności sieci wodno-kanalizacyjnych. W analizowanym obszarze, z powodu obecności zabudowy, uformował się specyficzny kierunek splywu powierzchniowego (z północnego zachodu na południowy wschód). Takie uwarunkowanie powoduje, że naturalne amplitudy wahania zwierciadła wody gruntowej są zintensyfikowane. Rysunek 3 dokumentuje numerycznie wyznaczone (z wykorzystaniem narzędzia SCALGOlive) dwa obrazy mikrozelewni, w których woda opadowa akumulowana jest w strefach przylegających do przedmiotowego budynku, stanowiących obszar infiltracji tych wód do obsypki i podsypki fundamentów oraz posadzki budynku.

Wody gruntowe. Na podstawie analizy stanu lokalnej infrastruktury podziemnej [13] oraz wyników obserwacji piezometrycznych, prowadzonych w latach 2023–2024 w sieci monitoringowej składającej się z pięciu otworów obserwacyjnych, stwierdzono, że w otoczeniu przedmiotowego budynku PW występują warunki:

- cztery otwory obserwacyjne o głębokości 6–8 m, w których zwierciadło swo-

Microcatchment generated by the SCALGOlive software for rainfall events of an intensity of:

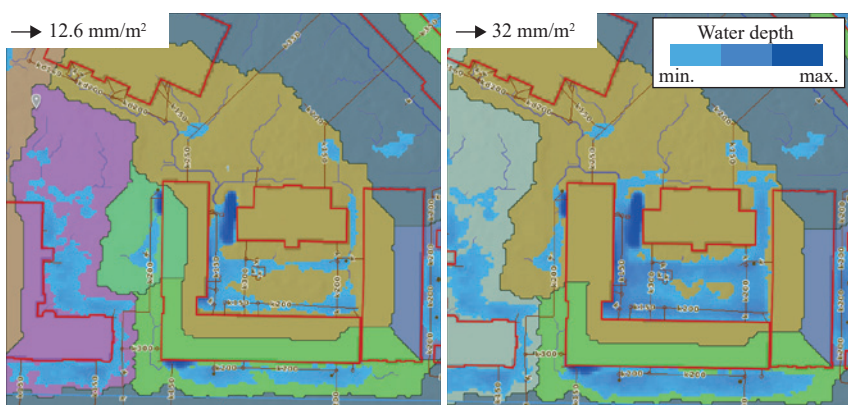
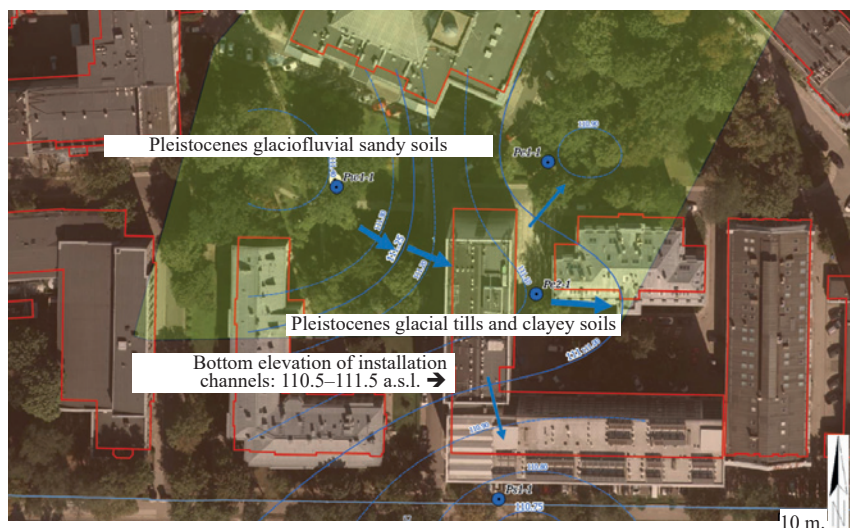


Fig. 3. Microcatchment zones adjacent to the TUW building, located at 20 Nowowiejska Street in Warsaw

Rys. 3. Mikrozelewnie rejonu przy budynku PW, ul. Nowowiejska 20, Warszawa



Higher groundwater level (measured on 24.05.2023); fluctuations within $\pm 0,5$ m (obser. 2023–2024)

Fig. 4. Groundwater hydroisohypse map (high water table as of May 2023) overlaid with soil types identified at a depth of 2 meters below ground level (based on the Geological-Engineering Atlas of Warsaw, PIG-PIB, 2000)

Rys. 4. Mapa hydroizohips wód gruntowych (stan wysoki z maja 2023 r.) na tle rodzaju gruntów stwierdzonych na głębokości 2 m p.p.t. (wg Atlasu geologiczno-inżynierskiego Warszawy, PIG-PIB, 2000)

(northwest to southeast), intensifying the natural amplitude of groundwater table fluctuations. Figure 3 presents numerically derived micro-catchment areas (using SCALGOlive), showing zones of stormwater accumulation adjacent to the building, which serve as infiltration areas for water reaching the building's foundation backfill and slab.

Groundwater. Based on analysis of the underground infrastructure condition [13] and observations from five monitoring wells between 2023–2024, the following conditions were identified:

- Four observation wells (depths: 6–8 m), where the phreatic water table is located at 3–4 m b.g.l., with fluctuations of approximately ± 0.5 m;
- One deep well (19.6 m), in which a confined aquifer was identified at a depth of ~ 11 m b.g.l.

The complex groundwater flow system in this area is attributed to:

- Local variations in the top surface of glacial clay layers, on which the shallow aquifer rests;
- Numerous interbeds and soils with varying permeability;
- Disruption of the natural stratigraphy due to intensive construction and installation works.

The observed groundwater levels confirm the lack of hydraulic connectivity between shallow groundwater and the deeper confined aquifer (located over a dozen meters deep). This second, slightly confined aquifer occurs as isolated stratified lenses with limited lateral extent. Significant differences in the physicochemical properties of water samples collected from the shallow aquifer during piezometer installation suggest varied origins of groundwater recharge. The following ranges were recorded: pH: 6.53–7.34; electrical conductivity: 689–2990 $\mu\text{S}/\text{cm}$; alkalinity: 5.4–13 mval/l; HCO_3^- : 329.4–793 mg/l; Cl^- : 74–305 mg/l; SO_4^{2-} : 10–375 mg/l; NO_2^- : 0.001–0.027 mg/l; NO_3^- : 0.4–9 mg/l; PO_4^{3-} : 0.16–0.97 mg/l; NH_4^+ : 0.88–3.74 mg/l; turbidity: 60 mg/l; odor: 1N; free CO_2 : 5–96.8 mval/l.

The building is situated at the center of a local micro-catchment, with morphological depressions around the structure promoting the retention of stormwater. Correlation between rainfall intensity and observed groundwater levels in monitoring wells indicates a significant risk of water ingress into installation and cable ducts due to increased infiltration and transient groundwater table rise. During infiltration, water encounters impermeable clays or structural barriers, leading to a localized „backwater” effect. Figure 4 presents a hydroisohypse map correlating groundwater table depths with soil types and duct invert levels.

Electrical Resistivity Tomography (ERT). To visualize the lateral extent and variability of soil layers, non-invasive electrical resistivity tomography (ERT/ERI) was conducted using a 12-channel ABEM Terrameter LS-2 with a gradient array configuration (Figure 5) [14, 15]. This method enabled identification of: surficial permeable sands (with variable dominant grain sizes and interbedded materials) thinning toward the south of the building (high-resistivity zones); loosened sandy soils (very high resistivity zones); thick clay layers (low to very low resistivity zones). Data were processed using RES2DINV software.

badne znajduje się na głębokości 3–4 m p.p.t., przy amplitudzie wahań wynoszącej ok. ± 0.5 m;

- jeden otwór obserwacyjny o głębokości 19,6 m, w którym zwierciadło napięte znajduje się na głębokości ok. 11 m p.p.t.

Skomplikowany układ przepływu wód gruntowych w tym rejonie wynika z następujących czynników:

- lokalnego zróżnicowania powierzchni stropowej glin, na których położony jest wodonośny poziom wód gruntowych;
- obecności licznych przewarstwień oraz gruntów o zmiennej wodoprzepuszczalności;
- zniszczenia naturalnego układu warstw geologicznych w wyniku intensywnej prac budowlanych i instalacyjnych prowadzonych w okolicy.

Zarejestrowana głębokość zwierciadeł warstw wodonośnych świadczy o braku kontaktu hydraulicznego między powierzchniowymi wodami gruntowymi a głębiej położoną warstwą wodonośną (na głębokości kilkunastu metrów). Drugi lekko napięty wodonośny poziom piezometryczny, do głębokości rozpoznania budowy geologicznej analizowanego obszaru, występuje w postaci charakterystycznych przewarstwień (miejscami izolowanych) o ograniczonej horyzontalnej rozciągłości. Obserwowane duże różnice we właściwościach fizykochemicznych (badania przeprowadzono na próbkach wody pobranych podczas realizacji piezometrów z pierwszego poziomu wodonośnego): pH 6,53–7,34; przewodność elektryczna 689–2990 $\mu\text{S}/\text{cm}$; zasadowość 5,4–13 mval/l; HCO_3^- 329,4–793 mg/l; Cl^- 74–305 mg/l; SO_4^{2-} 10–375 mg/l; NO_2^- 0,001–0,027 mg/l; NO_3^- 0,4–9 mg/l; PO_4^{3-} 0,16–0,97 mg/l; NH_4^+ 0,88–3,74 mg/l; mętność 60 mg/l; zapach 1N; CO_2 (wolny) 5–96,8 mval/l – świadczą o różnym pochodzeniu wód zasilających pierwszy poziom wodonośny.

Przedmiotowy budynek znajduje się w centrum mikrozwlewni rozpatrywanego obszaru, a depresje morfologii wokół budynku stanowią uprzywilejowany kierunek retencjonowania wód opadowych. Na podstawie analizy różnych wielkości opadów i odpowiadających im poziomów zwierciadeł wód gruntowych w poszczególnych punktach pomiarowych monitoringu piezometrycznego stwierdzono, że istnieje uzasadnione ryzyko zalewania betonowych kanałów instalacyjnych i kanałów kablowych wskutek wzmożonej infiltracji wody w podłoże oraz czasowego podnoszenia się poziomu wód gruntowych. Wody te podczas infiltracji w grunt napotykać trudno przepuszczalne i nieprzepuszczalne podłoże gliniaste lub konstrukcje budynku, bądź infrastruktury podziemnej i ulegają „podpiętrzeniu”. Rysunek 4 przedstawia mapę hydroizohips w relacji do rodzaju gruntu oraz głębokości dna kanałów instalacyjnych.

Tomografia elektrooprowa. Do weryfikacji wizualizacji, rozciągłości i zmienności poszczególnych warstw gruntowych wykorzystano nieinwazyjną i nieniszczącą metodę tomografii elektrooporowej (Electro resistivity tomography/imaging ERT/ERI) (rysunek 5) [14, 15]. z wykorzystaniem 12-kanałowego zestawu ABEM Terrameter LS-2 oraz protokołu układu gradientowego. Metodą tą zweryfikowano lokalizację: przepuszczalnych powierzchniowo zalegających piasków (o różnych frakcjach dominujących oraz domieszkach i przewarstwieniach), których miąższość maleje w kie-

By employing small electrode spacing (0.5 and 1 m) and repeated measurements for individual configurations [3], high-quality results were obtained despite dense underground infrastructure. The root mean square (RMS) error between measured and modeled resistivity values [14] was below 5% for three profiles and approximately 10–15% for the remaining two.

Conclusions

The observed groundwater-related issues reflect adverse geological and engineering impacts on the structural integrity of the building. Surficial permeable soils promote stormwater infiltration into foundation backfill, leading to rapid rises in groundwater levels. When combined with installation failures and system inefficiencies, this results in periodic water ingress and flooding, depending on rainfall intensity. The surrounding impermeable surfaces (asphalt and concrete) exacerbate runoff and fluctuations in groundwater levels, particularly in the low-lying zone immediately adjacent to the building.

Although leak locations may vary, the underlying cause is consistent: **periodic groundwater rise due to stormwater recharge not adequately captured by drainage or stormwater systems**. The condition of building installations may affect structural stability not only through leakage and dampness,

runku południowym (względem przedmiotowego budynku), aż do ich marginalizacji (na przekrojach geoelektrycznych strefy o wysokich opornościach); rozluźnień gruntów piaszczystych (strefy o bardzo wysokiej oporności elektrycznej); glin o relatywnie dużej miąższości (strefy o bardzo małej i małej oporności). Do przetwarzania i graficznej reprezentacji zarejestrowanych danych oporności elektrycznej wykorzystano program RES2DINV.

Dzięki zastosowaniu bliskiego rozstawu elektrod (0,5 i 1 m) i kilkakrotnemu powtórzeniu pomiaru w przypadku jednej konfiguracji elektrod [3] uzyskano dobrą jakość wyników badań geofizycznych (błąd RMS opisujący ilościowo niedopasowanie między zmierzonymi i prognozowanymi wartościami oporności elektrycznej [14] < 5% w trzech przypadkach i dwóch pozostałych na poziomie ok. 10 i 15%) pomimo gęstej infrastruktury podziemnej, która zazwyczaj stwarza duże problemy interpretacyjne.

Podsumowanie

Problemy związane z wodą gruntową stanowią wyraźny przejaw negatywnego oddziaływania warunków geologiczno-inżynierskich na konstrukcję budowlaną obiektu. Powierzchniowo zalegające grunty przepuszczalne doprowadzają wody opadowe (przez infiltrację) do obsypki i podsypki fundamentu budynku. Szybkie podniesienie zwierciadła wód gruntowych, w połączeniu z nieszczelnościami i niecałkowicie sprawną instalacją techniczną, której awarie są usuwane podczas bieżącej eksploatacji budynku, przekłada się na występowanie przecieków i podtopień (w zależności od intensywności opadów). Zabetonowana i wyasfaltowana powierzchnia terenu w otoczeniu budynku zwiększa intensywność spływu i w konsekwencji amplitudę wahań zwierciadła wody w miejscu możliwej infiltracji, stanowiącej najniższy punkt morfologiczny (wąski pas terenu bezpośrednio otaczający budynek).

Mimo różnej lokalizacji przecieków, przyczyna ich występowania jest wspólna, tj. **okresowe podnoszenie zwierciadła wód gruntowych na skutek zasilania wodą opadową i roztopową**, która nie jest właściwie przejmowana przez system odwodnienia terenu i kanalizację deszczową. Kondycja instalacji budowlanych może mieć wpływ na konstrukcję obiektu budowlanego nie tylko w wyniku przecieków i zawilgoceń, ale również wystąpienia deformacji filtracyjnych (np. sufozja, czy deformacje w konsekwencji długoletniego występowania zjawiska z uwagi na zmianę stanu naprężenia wskutek procesu filtracji) w jego podłożu. Tak więc, **problem**

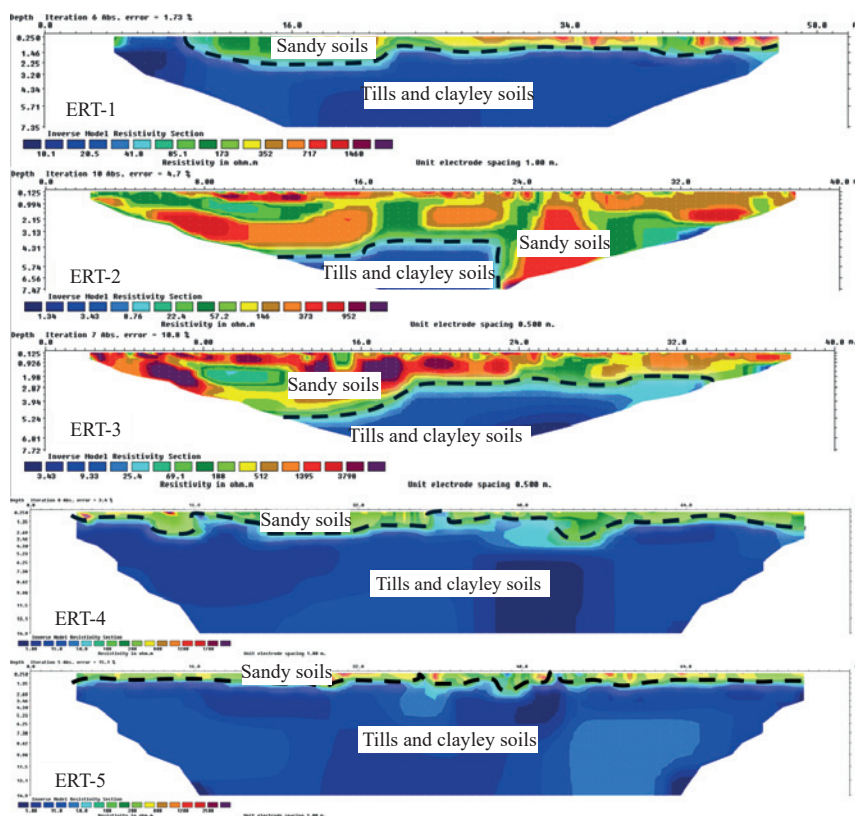


Fig. 5. Electrical resistivity cross-sections performed near the WUT building at 20 Nowowiejska Street, Warsaw (survey location shown in Fig. 1)

Rys. 5. Wykonane przekroje elektrooporowe w sąsiedztwie budynku PW, przy ul. Nowowiejskiej 20 w Warszawie (lokalizacja badań przedstawiona na rysunku 1)

but also via filtration-induced deformations (e.g., suffosion or stress redistribution over time). **Therefore, addressing basement flooding requires effective stormwater collection and diversion to prevent intensified accumulation and infiltration near the building.**

This paper was co-financed under the research grant of the Warsaw University of Technology supporting the scientific activity in the discipline of Civil Engineering, Geodesy and Transport.

Received: 21.10.2024

Revised: 30.12.2024

Published: 25.04.2025

zalewanych piwnic można rozwiązać, eliminując wzmożoną akumulację i infiltrację wód opadowych w rejonie przedmiotowego budynku przez efektywne ujęcie i odprowadzenie tych wód.

Artykuł był współfinansowany w ramach grantu badawczego Politechniki Warszawskiej wspierającego prowadzenie działalności naukowej w dyscyplinie Inżynieria Lądowa, Geodezja i Transport.

Artykuł wpłynął do redakcji: 21.10.2024 r.

Otrzymano poprawiomy po recenzjach: 30.12.2024 r.

Opublikowano: 25.04.2025 r.

Literature

- [1] Howard K, Israfilov R. Current problems of hydrogeology in urban areas, urban agglomerates and industrial centers. Kluwer Academic Publishers, 2002.
- [2] Hoła J. Degradacja budynków zabytkowych wskutek nadmiernego zawilgocenia – wybrane problemy. *Budownictwo i Architektura*. 2018; 17(1): 133-148. http://doi.org/10.24358/Bud-Arch_18_171_17
- [3] Popielski P, Majewski T, Bednarz B, Niedostatkiwicz M. Deformacje filtracyjne i ich oddziaływanie na osiadanie podłoża na przykładzie zabytkowego obiektu sakralnego. *Materiały Budowlane*. 2022; 10: 27-31. <http://doi.org/10.15199/33.2022.10.08>
- [4] Krogulec E, Małecki J.J, Porowska D, Wojdalska A. Assessment of Causes and Effects of Groundwater Level Change in an Urban Area (Warsaw, Poland). *Water*. 2020; 12, 3107. <https://doi.org/10.3390/w12113107>
- [5] Krogulec E, Gruszczyński T, Kowalczyk S, Małecki J, Mieszkowski R, Porowska D, Sawicka K, Trzeciak J, Wojdalska A, Zabłocki S, Zaszewski D. Causes of groundwater level and chemistry changes in an urban area: A case study of Warsaw, Poland. *Acta Geologica Polonica*. 2022; 72(4), 495–517. <https://doi.org/10.24425/agp.2022.142645>
- [6] Archiwalna dokumentacja projektowa dotycząca budynku przy ulicy Nowowiejskiej 20.
- [7] Mapa hydrogeologiczna Polski, arkusz Warszawa wschód (524), Główny użytkowy poziom. K. Cygański, 1997, PIG, skala 1:50 000
- [8] Szczegółowa mapa geologiczna Polski, arkusz Warszawa wschód (524), Z. Sarnacka, 1979, PIG, skala 1:50 000
- [9] Szczegółowa mapa litogenetyczna Polski, arkusz Warszawa wschód (524), J. Przasnyska, 2009, PIG, skala 1:50 000
- [10] Mapa hydrogeologiczna Polski, arkusz Warszawa Wschód (524) Występowanie i hydrodynamiki pierwszego poziomu wodonośnego, A. Hulboj, 2006, PIG, skala 1:50 000
- [11] Atlas geologiczno-inżynierski Warszawy. Frankowski Z, Wysokiński L. (red.), 2000, Arch. CAG, Warszawa.
- [12] Objaśnienia do mapy hydrogeologicznej Polski w skali 1:50 000 Arkusz Warszawa wschód (524), K. Cygański; E. Woźniak, 1997, PIG
- [13] Badania geologiczne podłoża gruntowego w rejonach kanałów sieci ciepłej na terenie głównym PW z określeniem zagrożenia tych kanałów wodami gruntowymi i opadowymi. IDIM WIL PW, 1985 r.
- [14] Loke D.H. Tutorial: 2-D and 3-D Electrical Imaging Surveys. 2001; Tutorial and Users' Guide.
- [15] Kaczmarek Ł, Sinicyn G, Kochanek K, Bednarz B, Grygoruk M, Grodzka-Łukaszevska M. Electrical resistivity imaging data for hydrogeological and geological investigations of Szuszałewo peatland (North-East Poland). *Data in brief*. 2024; 55, 110626. <https://doi.org/10.1016/j.dib.2024.110626>