

Jerzy Sękowski

# Wybrane problemy geotechniczne zabytkowych obiektów sakralnych

## Selected geotechnical problems in historical church objects

### 1. Wstęp

Obiekty sakralne, jako miejsca kultu i modlitwy, istniały od zarania ludzkości. Lokowane na wzgórzach i wyniosłościach terenowych, na przecięciu szlaków komunikacyjnych, ale także w dolinach i miejscach ustronnych, z czasem zaczęły „dominować” nad okolicą, skupiając uwagę, a nawet wywołując zachwyt mieszkańców, przejezdnych i pielgrzymów (ryc. 1).

Zdumiewa przy tym umiejętność budowniczych w zakresie wyboru miejsca ze względu na korzystne dla projektowanych obiektów warunki posadowienia. Decydowała o tym wiedza i doświadczenie ówczesnych budowniczych, a także intuicja geotechniczna. Nie oznacza to jednak, że nie popełniano błędów, zarówno w odniesieniu do posadowienia obiektów, ich konstrukcji, technologii prowadzenia prac budowlanych oraz użytkowania, jak również napraw i konserwacji. Do zasadniczych można zaliczyć brak dostatecznej wiedzy, złe wykonawstwo i niewłaściwe materiały budowlane, a także brak opieki nad obiektami. Obiekty niszczały również w sposób naturalny, względnie niszczone były celowo lub bezmyślnie, a podejmowane prace remontowe i naprawcze oraz konserwatorskie nie zawsze miały charakter przemyślany i konsekwentny. Do innych, bardziej współczesnych przyczyn zaliczyć można oddziaływanie środowiska, zmiany stosunków wodnych, eksploatację podziemną, prace budowlane prowadzone w sąsiedztwie, brak dobrej woli, a przede wszystkim środków finansowych na utrzymanie istniejących obiektów, nie mówiąc już o ich odbudowie. Efekt to powolna degradacja wielu kolejnych sakralnych obiektów zabytkowych (ryc. 2).

Na szczęście są także przykłady podejmowania, nawet po wielu latach zapomnienia lub niemożności, szeroko pojętych prac remontowych, począwszy od inwentaryzacji aż po prace konserwatorskie, w następstwie których obiektom tym jest przywracany dawny blask i walory (ryc. 3).

W niniejszym artykule na bazie własnych doświadczeń autor przybliżył problemy geotechniczne związane

### 1. Introduction

Sacred sites in the form of places of cult and prayer have existed since the beginning of mankind. Located on hills and naturally elevated sites, on the crossroads of traffic routes, but also in valleys and secluded places, in time they began to “dominate” the area, becoming the focus of attention or even admiration of inhabitants, travellers and pilgrims (fig. 1).

What was amazing was the builders’ ability to select a suitable site as far as advantageous conditions for founding the designed objects were concerned. It was decided by the knowledge and experience of the contemporary builders and their geotechnical intuition. It did not mean, however, that no errors were committed, both regarding the objects’ foundations, their construction, technology of carrying out building work, use, repairs and conservation. Among the most basic errors were the following: lack of sufficient knowledge, poor execution, unsuitable building materials and no proper care of objects. The buildings deteriorated in a natural way, too, or were destroyed either deliberately or incidentally, and the undertaken renovation, repair and conservation work was not always well thought out and consistent. Other, more modern reasons could be the following: environmental impact, change in water relations, underground exploitation, construction work conducted in the vicinity, lack of good will, and mainly lack of financial means for the maintenance of existing objects, not to mention their reconstruction. The result has been gradual degradation of several subsequent historical church objects (fig. 2).

Luckily there are also examples of undertaking large-scale renovation work, even after years of neglect or inertia, beginning with inventory making and ending with conservation work, in consequence of which the objects are restored to their former glory and value (fig. 3).

In the article, on the basis of his own experience, the author gave a brief outline of geotechnical problems as-

z zabytkowymi obiektami sakralnymi, ilustrując je przykładami wybranych obiektów.

## 2. Posadowienia zabytkowych obiektów sakralnych

Poprawne posadowienie obiektu budowlanego i budowli inżynierskiej to nieodzowny warunek ich prawidłowego funkcjonowania. Takie posadowienie powinno spełniać określone wymagania normowe, również w stosunku do ich konstrukcji [1].

W odniesieniu do zabytkowych obiektów sakralnych możemy mówić praktycznie o dwóch sposobach ich posadowienia, tj. bezpośrednim i pośrednim. Pierwszy ma miejsce, gdy obciążenie z obiektu przekazywane jest przez podstawy fundamentów wprost na podłoże budowli; o drugim mówimy, gdy obciążenie przekazywane jest na jego głębsze warstwy. W przypadku posadowienia bezpośredniego podłożem są zwykle naturalne grunty mineralne, rzadziej utwory skaliste, natomiast do posadowienia pośredniego wykorzystywano zwykle pale. I chociaż znane są nieliczne przypadki posadowienia zabytkowych obiektów sakralnych na podłożu wcześniej wzmocnionym, to jednak dominującymi są wspomniane wcześniej koncepcje klasyczne.

## 3. Wybrane problemy geotechniczne zabytkowych obiektów sakralnych

Problemy geotechniczne zabytkowych obiektów sakralnych, podobnie jak innych obiektów budownictwa ogólnego, związane są z:

- podłożem gruntowym i szeroko rozumianym posadowieniem obiektów,
- zabezpieczeniem obiektów przed wodami gruntowymi i opadowymi oraz wpływami geodynamicznymi,
- podejmowaniem prac budowlanych w odniesieniu do obiektów i podłoża gruntowego,
- użytkowaniem obiektów.

W odniesieniu do zabytkowych obiektów sakralnych, a więc obiektów o specyficznej konstrukcji, w dodatku wybudowanych wiele lat temu, szczególnego znaczenia nabierają zagadnienia dotyczące:

- przyjętego sposobu posadowienia obiektu, rodzaju fundamentów, ich charakterystyki geometrycznej i konstrukcyjnej, warunków gruntowych w podłożu i stopnia spełnienia warunków stanów granicznych,
- warunków wodnych i zmian stosunków wodnych w podłożu,
- zabezpieczenia przed wodami opadowymi i gruntowymi,
- skutków oddziaływania środowiska gruntowego na fundamenty oraz wpływów sejsmicznych i parasejsmicznych na istniejący obiekt,
- prowadzonych prac naprawczych, remontowych i modernizacyjnych w obrębie obiektu oraz prac budowlanych w jego sąsiedztwie,
- stateczności skarp (w przypadku usytuowania obiektu na skarpie lub też znajdujących się chwilowo w takiej sytuacji),

sociated with historical church buildings, illustrating them with examples of selected objects.

## 2. Foundations of historical church buildings

Laying proper foundations for a building or an engineering construction is an indispensable condition for their functioning. Such foundations should comply with clearly defined standard requirements, also in relation to their construction [1].

In relation to historical church objects we can practically talk about two ways of laying their footings, i.e. indirect and direct. The first occurs when load from the object is transferred by the footing straight onto the base of the building, and the other occurs when it is transferred into its lower layers. In the case of direct footing, the base is usually natural mineral soil, less frequently rock deposits, while posts were generally used for indirect footings. And although there have been rare cases of founding historical church objects on the previously reinforced base, nevertheless the already mentioned classic concepts are dominant.

## 3. Selected geotechnical problems in historical church objects

Geotechnical problems in historical church objects, similarly to other general building constructions, are associated with:

- the subsoil and widely understood foundations of objects,
- protecting the objects against groundwater, rainwater and geodynamic influences,
- undertaking construction work in relation to objects and the subsoil,
- use of the objects.

In reference to historical church objects that is objects with a specific construction, and moreover erected many years ago, the following issues are of particular significance:

- the approved way of founding the object; type of footings; their geometric and construction properties; ground conditions in the subsoil and the degree of meeting the conditions of borderline states,
- water conditions and changes in water relations in the subsoil,
- protection against rainwater and groundwater,
- results of ground environment impact on the foundations and seismic and para-seismic influence of the existing object,
- conducted repair, renovation and modernisation work within the object and construction work in its vicinity,
- stability of escarpments (when the object is situated on an escarpment or is temporarily in such a situation),
- reinforcing the subsoil under the object,
- their use,
- other (e.g. historical considerations, natural disasters, vegetation).

- wzmocnienia podłoża gruntowego pod obiektem,
- użytkowania,
- inne (np. względy historyczne, klęski żywiołowe, roślinność).

Stąd też podejmowanie jakichkolwiek działań naprawczych wymaga szerokiej wiedzy na temat obiektu oraz historii jego uszkodzeń. Jej źródłem jest wizja lokalna, analiza dostępnych materiałów, wyniki badań geotechnicznych i analiza obliczeniowa. Nieodzowna jest przy tym także ścisła współpraca z różnymi specjalistami (np. z archeologiem, konserwatorem, dendrologiem, mykologiem itd.).

Na przytoczonych poniżej przykładach omówiono wspomniane powyżej problemy, ilustrując je materiałem fotograficznym.

#### 4. Przykłady ilustrujące wybrane problemy geotechniczne sakralnych obiektów zabytkowych

- Zasadnicze informacje w odniesieniu do istniejącego obiektu dotyczą sposobu jego posadowienia, rodzaju fundamentu oraz jego charakterystyki geometrycznej i materiałowej. Przy braku stosownej dokumentacji archiwalnej do pozyskania tych informacji wykorzystuje się m.in. odkrywkę fundamentowe (ryc. 4a).

Przy sprawdzaniu stanów granicznych istniejącego posadowienia konieczna jest również znajomość warunków gruntowych w podłożu. To one decydowały i decydują o sposobie posadowienia obiektów. Ich określenie jest możliwe przy wykorzystaniu m.in. klasycznych wierceń i sondowań [4], a także badań geofizycznych [5]. Te ostatnie są szczególnie przydatne przy posadowieniu obiektu na utworach skalnych, na terenach podlegających wpływom górniczym i zjawiskom krasowym (ryc. 4b).

Ocena przyjętego posadowienia wymaga pełnej wiedzy w odniesieniu do warunków gruntowo-wodnych w podłożu istniejącego obiektu i warunków jego posadowienia, której w wielu przypadkach po prostu brak.

- Informacja na temat warunków wodnych, a w szczególności stopnia ich stabilności, ma podobnie jak warunki gruntowe bardzo istotne znaczenie przy ocenie posadowienia i przyjętych zabezpieczeń przeciwwodnych w zabytkowych obiektach sakralnych. Zmiana stosunków wodnych może wynikać m.in. z prowadzonej eksploatacji podziemnej, powierzchniowych prac ziemnych, uszkodzenia istniejących lub wykonania nowych cieków wodnych i rowów odwadniających, prowadzonej działalności budowlanej (np. przesłony w gruncie). W efekcie lustro wód gruntowych może podnieść się zalewając piwnice, zagrażając fundamentom, ścianom fundamentowym i posadzkom wspomnianych obiektów. Obniżając się może natomiast wywołać dodatkowe osiadania budowli. Mogą one wystąpić również w wyniku uszkodzenia pali drewnianych, odsłoniętych w następstwie obniżenia się poziomu wód gruntowych, jak ma to miejsce w sanktuarium w Świętej Lipce (ryc. 5).

- Szczególnie uciążliwa dla zabytkowych obiektów sakralnych jest woda opadowa i woda gruntowa. Pierwsza przy braku rynien i rur spustowych (ryc. 6a) oraz skutecznego odwodnienia powierzchniowego, druga przy braku odpowiednich zabezpieczeń przeciwwilgotności-

Therefore undertaking any restoration work requires vast knowledge concerning the object and the history of its damage. Its sources are: an inspection on site, an analysis of available materials, results of geotechnical tests and a calculation analysis. Close cooperation with various specialists (e.g. an archaeologist, conservator, dendrologist, mycologist etc.) also seems indispensable.

The above mentioned problems have been discussed on the following examples and illustrated with photographic material.

#### 4. Examples illustrating selected geotechnical problems in historical church objects

- Basic information referring to an existing object concerns its foundations, type of footing and its geometric and material properties. If no suitable archive documentation is available, such information has to be obtained by means of e.g. foundation test pits (fig. 4a).

When checking borderline states of the existing foundations it is necessary to know the ground conditions in subsoil as they have determined the manner of laying foundations for objects. Determining them is possible when using e.g. classic drilling and probing [4] but also geophysical research [5]. The latter are particularly useful when founding an object on rock deposits, or areas influenced by mining or karst phenomena (fig. 4b).

Assessing the adopted foundation requires thorough knowledge concerning ground and water conditions in the subsoil of the existing object, as well as its footing conditions, which is frequently lacking.

- Information concerning water conditions, and particularly degree of their stability is, similarly to ground conditions, of vital importance for evaluating the foundations and the approved waterproofing system in historical church objects. Changes in water relation can result from e.g. continued underground exploitation, surface earthworks, damaging the existing or digging new groundwater flows or drainage ditches, carried out construction work (e.g. screens in the ground). As a result the level of groundwater could rise flooding cellars, threatening foundations, foundation walls and floors of the mentioned objects. If the level drops it could result in additional sinking of buildings. That could also occur as a consequence of damaging timber posts uncovered as a result of lowered level of groundwater, which was the case in the sanctuary in Święta Lipka (fig. 5).

- Rainwater and groundwater can be particularly harmful for historical church objects: the former, when there are no gutters or drainage pipes (fig. 6a) or an effective surface draining system, the latter when there are no suitable damp-proof systems, can negatively affect the above mentioned objects for many years, destroying them from the roof, through walls down to the foundations (fig. 6a, 6b).

Besides actually destroying the object, both types of water can, by worsening the physical state of the ground beneath, lower its load-bearing capacity, cause heaves but





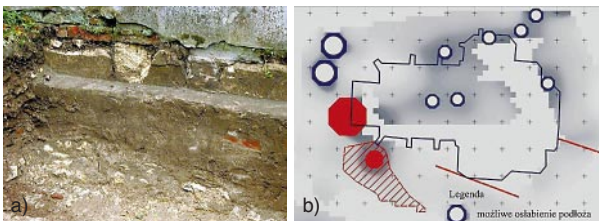
Ryc. 1. Klasztor kamedułów nad jeziorem Wigry (zdjęcie: pl.wikipedia.org)  
 Fig. 1. The Camaldolese Monastery on the Lake Wigry (photo: pl.wikipedia.org)



Ryc. 2. Ziemięcice, kościół pw. św. Jadwigi – w ruinie (zdjęcie: autor)  
 Fig. 2. Ziemięcice, the church of St. Hedwig – ruined (photo: author)



Ryc. 3. Kościółek drewniany w miejscowości Sierakowice k. Gliwice (zdjęcie: autor)  
 Fig. 3. The wooden church in Sierakowice near Gliwice (photo: author)



Ryc. 4. Przykłady metod rozpoznania warunków posadowienia obiektów sakralnych: a) odkrywki fundamentowe [2]; b) mapa badań geofizycznych podłoża w przedziale głębokościowym 0–6 m p.p.t. [3]  
 Fig. 4. Examples of methods for identifying the conditions of founding church objects: a) foundation test pits – [2]; b) map of geophysical tests of the subsoil within the depth range of 0–6m ppt. [3]



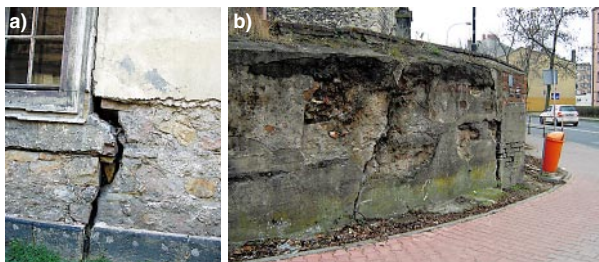
Ryc. 5. Uszkodzone sklepienie sanktuarium w Świętej Lipce (zdjęcie: Szymon Konecko z Pracowni Konserwacji Zabytków STIUK w Olsztynie)  
 Fig. 5. Damaged vault of the Sanctuary in Święta Lipka (photo: Szymon Konecko from the Monument Conservation Laboratory STIUK in Olsztyn)



Ryc. 6. Przykłady negatywnego wpływu wód opadowych na sakralne obiekty zabytkowe: a) kościół w Bolszowcach [2]; b) kościół pw. św. Trójcy w Będzinie (zdjęcie: Jerzy Bochen)  
 Fig. 6. Examples of negative impact of precipitation on historical church objects: a) the church in Bolszowce – [2]; b) the church of the Holy Trinity in Będzin (photo: Jerzy Bochen)



Ryc. 7. Przykłady odprowadzenia wód opadowych: a) kościół pw. św. św. Jerzego i Wojciecha w Zatorze, b) kościół pw. św. Jakuba w Sandomierzu, c) kościół pw. św. Rocha w Radomsku (zdjęcia: autor)  
 Fig. 7. Examples of channelling of precipitation water: a) the church of St. George and Wojciech in Zator, b) the church of St. James in Sandomierz, c) the church of St. Roch in Radomsko (photos: author)



Ryc. 8. Przykłady wpływów parasejsmicznych na zabytkowe obiekty sakralne: a) kościół ewangelicki w Wałbrzychu (zdjęcie: Zbigniew Pająk), b) kościół pw. św. Bartłomieja w Gliwicach (zdjęcie: autor)  
 Fig. 8. Examples of para-seismic influence on historic church objects: a) the evangelical church in Wałbrzych (photo: Zbigniew Pająk), b) the church of St. Bartholomew in Gliwice (photo: author)





Ryc. 9. Przykład uszkodzonej belki podwalinowej w kościółku pw. św. Rocha w Radomsku (zdjęcie: autor)  
 Fig.9. An example of a damaged ground beam in the church of St. Roch in Radomsko (photo: author)



Ryc. 10. Przykład lokalnej utraty stateczności: wzgórze kościoła pw. św. św. Jerzego i Wojciecha w Zatorze (zdjęcie: Zbigniew Pająk)  
 Fig.10. An example of local loss of stability, the hill of St. George and St. Wojciech's Church in Zator (photo: Pająk Zbigniew)



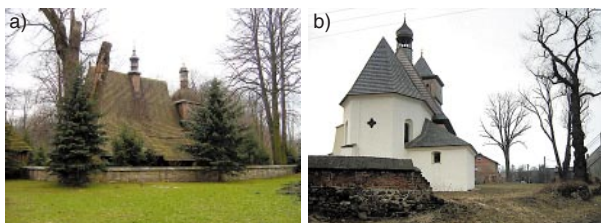
Ryc. 11. Przykłady obiektów, pod którymi wzmocniono podłoże: a) kościół pw. św. Antoniego z Padwy w Dąbrowie Górniczej-Golonogu; b) kościół pw. św. Anny w Warszawie (zdjęcia: autor)  
 Fig.11. Examples of objects under which the ground was reinforced: a) the church of St. Anthony of Padua in Dąbrowa Górnicza-Golonóg; b) the church of St. Anna in Warszawa (photos: author)



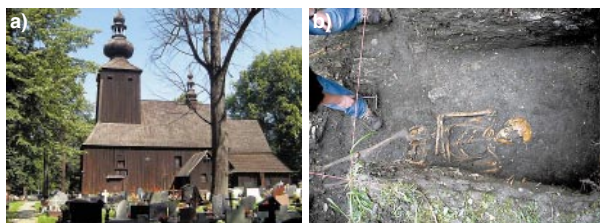
Ryc. 12. Wzmocnienie fundamentów kościoła pw. św. Rocha w Radomsku (zdjęcie: autor)  
 Fig.12. Reinforcing the foundations of the St. Roch Church in Radomsko (photo: author)



Ryc. 13. Przykłady uszkodzeń z powodu niewłaściwego użytkowania: a) mur ogrodzeniowy kościoła pw. Trójcy Świętej w Będzinie; b) otoczenie kościółka pw. św. Marcina w Ćwiklicach (zdjęcia: autor)  
 Fig.13. Examples of damage caused by improper use: a) the fence wall of the Holy Trinity Church in Będzin; b) surroundings of the St. Martin Church in Ćwiklice (photos: author)



Ryc. 14. Zagrożenie obiektów sakralnych z tytułu drzew: a) kościół pw. św. Pawła w Sękowej; b) kościół pw. św. Jerzego w Gliwicach-Ostropie (zdjęcia: autor)  
 Fig.14. Church objects endangered by trees; a) the church of St. Paul in Sękowa; b) the church of St. George in Gliwice-Ostrop (photos: author)



Ryc. 15. Cmentarze lub pozostałości po nich wokół istniejących kościołów: a) kościół pw. św. Marcina w Ćwiklicach (zdjęcie: autor); b) kościół w Bolszowcach na Ukrainie (zdjęcie: Zygmunt Bartoszek)  
 Fig.15. Churchyards or their relics located around existing churches: a) the church of St. Martin in Ćwiklice (photo: author); b) the church in Bolszowce in Ukraine (photo: Zygmunt Bartoszek)



wych mogą negatywnie oddziaływać na wspomniane obiekty przez długie lata, niszcząc je od dachu, poprzez ściany aż do fundamentów (ryc. 6a, b).

Obydwa rodzaje wód obok niszczenia obiektu mogą, pogarszając stan fizyczny zalegających pod nimi gruntów, obniżać ich nośność, sprzyjać wysadzinom, a także zagrażać stateczności obiektu w przypadku jego posadowienia na stoku czy skarpie.

Wody opadowe niszczą ściany i dachy obiektów (szczególnie w przypadku drewnianych kościołków), a także infiltrują w podłoże gruntowe.

W przypadku wód gruntowych uszkodzenia koncentrują się zwykle w części przyziemnej i podziemnej obiektu. Skutecznym sposobem uniknięcia tych zagrożeń jest wykonanie odpowiedniej izolacji przeciwwodnej (pionowej, poziomej), a w przypadkach uzasadnionych również drenażu. Wody gruntowe i opadowe powinny być odprowadzone poza obiekt. Odpowiednie rozwiązania, także ze względów konserwatorskich, powinny być zaprojektowane i wykonane niezwykle starannie. Przykłady kilku takich rozwiązań przedstawiono na ryc. 7.

- Na fundamenty obiektów zabytkowych może oddziaływać środowisko gruntowo-wodne z powodu zanieczyszczeń, jakie występują w samym gruncie oraz w wodzie gruntowej. Ich pochodzenie może być różne, podobnie jak i odczyn. Skutki oddziaływania mogą dotyczyć zarówno materiału, z którego fundament został wykonany (kamień, cegła, beton czy też drewno), ewentualnej izolacji, a także gruntu, względnie skały, na której obiekt został posadowiony. Innym zagrożeniem są wpływy sejsmiczne, jak również wstrząsy parasejsmiczne, generowane przez eksploatację podziemną [6], prace strzelnicze i ruch samochodowy. Ten ostatni, obok wstrząsów, jest też źródłem spalin i olejów infiltrujących w podłoże. Przykładów niekorzystnych oddziaływań wspomnianych wpływów jest coraz więcej, a ilustrują je uszkodzony obiekt sakralny i ogrodzenie wokół niego, przedstawione na ryc. 8. Pierwszy uległ silnym uszkodzeniom w następstwie wpływów eksploatacji górniczej, drugi oddziaływaniom intensywnego ruchu samochodowego na pobliskiej ulicy [7].

- W obiektach sakralnych podejmowane są prace modernizacyjne i remontowe. Bezpośrednich przyczyn takich działań jest wiele, np. pożar, powódź, uszkodzenie przez szkodniki, nadmierne osiadanie. Prace te mogą wpływać na zmianę obciążenia, a nawet schematu obciążeń, co może wywołać dodatkowe uszkodzenia obiektu. Innymi przyczynami podobnych uszkodzeń mogą okazać się prace budowlane realizowane w sąsiedztwie wspomnianych obiektów, obejmujące np. wykonywanie głębokich wykopów, budowę nowych obiektów, sieci podziemnych itp. Mogą być nimi również prace obejmujące budowę dróg i chodników oraz zasypywanie istniejących rowów. Spiętrzenie lub ograniczany w ten sposób odpływ wód powierzchniowych są szczególnie niekorzystne dla drewnianych obiektów sakralnych, posadawianych wprost na gruntach rodzimych, co ilustruje ryc. 9.

- Obiekty sakralne są często sytuowane na wznieszeniach, skarpach lub zboczach terenowych, co grozi niebezpieczeństwem utraty stateczności z powodu np. zsuwu lub spłynięcia. Zagrożenie to wzrasta przy nawodnieniu gruntów spowodowanym zniszczeniem kanalizacji wodnej, ściekowej lub deszczowej, względnie nadmiarem wód

also threaten stability of the object when it was located on a slope or an escarpment.

Rainwater damages walls and roofs of objects (especially in case of wooden churches) and filters into the subsoil.

In case of groundwater damage concentrates usually in the basement and underground sections of the object. An effective way of avoiding those threats is providing sufficient waterproof insulation (vertical and horizontal), as well as drainage when the situation justifies it. Groundwater and rainwater should be channelled outside the object. Appropriate solutions, also taking into account conservation aspects, ought to be designed and executed with extreme care. Examples of several such solutions are presented in fig. 7.

- Footings of historical objects can be affected by soil and water environment by means of contaminants occurring in the soil itself and in groundwater. Their origins can vary as can their reaction. Results of their impact can concern both the material from which the foundation was built (stone, brick, concrete or timber), possible insulation, and the ground or rock on which the object was erected. Other threats are posed by seismic impact as well as para-seismic tremors generated by underground exploitation [6], blasting works and motor traffic. The latter, besides generating vibrations, is also a source of exhaust fumes and oils filtering into the subsoil. There are more and more examples of adverse influence of the above mentioned factors, and they can be illustrated by a damaged church building and the fence surrounding it, presented in fig. 8. The former was seriously damaged as a result of mining exploitation, the latter was affected by intensive motor traffic on the nearby road [7].

- Modernisation and renovation work has been undertaken in church objects. There are numerous reasons for such activities, e.g.: fires, floods, damage inflicted by pests, and excessive sinking. Such work can affect the change of load capacity or even the load capacity scheme, which could result in additional damage to the object. Other reasons for similar damage can be construction work realised in the vicinity of the already mentioned objects, involving e.g. digging deep pits, building new objects, underground networks etc. They could also involve tasks such as building roads and pavements, and filling in the existing ditches. That way of banking up or restricting the outflow of surface water can be particularly detrimental for wooden church objects founded directly on subsoil, which is illustrated in fig. 9.

- Church objects have frequently been situated on hills, escarpments or slopes, which might result in losing their stability because of sliding or flowing down. The threat increases when the ground is additionally watered as a result of destruction of water, sewage or rain drain system, or excess of groundwater or atmospheric water. Danger can also arise from earthwork or construction work conducted in the objects themselves or in their vicinity, as well as at the foot of the escarpment. The basis of a correct assessment of an escarpment stability is a thorough identification of subsoil. Calculations of escarpment stability could help to define the degree of danger, enforcing e.g. suitable protective activities to be un-

gruntowych i wód opadowych. Zagrożeniem są również prace ziemne lub budowlane prowadzone w samych obiektach bądź w ich sąsiedztwie, jak również u podnóża skarpy. Podstawą prawidłowej oceny stateczności skarpy jest staranne rozpoznanie podłoża gruntowego. Obliczenia stateczności skarpy mogą określić stopień owego zagrożenia, wymuszając m.in. podjęcie stosownych działań zabezpieczających [8]. Przykładów wspomnianych działań i zastosowanych metod zabezpieczenia stateczności skarp dostarcza literatura przedmiotu. Może to być wspomniany już zabytkowy klasztor w Bołszowcach na Ukrainie [1], posadowiony na utworach skalnych (margle). Zagrożeniem lokalnej utraty stateczności wysokiej na ok. 16 m skarpy jest woda opadowa uplastyczniająca przypowierzchniowo zalegające lessy (to ostatecznie przesądziło o wykonaniu drenażu powierzchniowego). Przy jej braku stateczność wzgórz klasztoru jest zachowana. Przykład lokalnej utraty stateczności skarpy z powodu intensywnych opadów i poważnego zagrożenia dla zabytkowego kościoła pw. św. św. Wojciecha i Jerzego w Zatorzu pokazany na jest ryc. 10.

- W odniesieniu do istniejących sakralnych obiektów zabytkowych podejmowane są także działania zmierzające do wzmocnienia podłoża pod nimi. W takiej sytuacji ważny jest wybór metody wzmocnienia [9], o czym współdecyduje szereg czynników, w tym względy konserwatorskie. Przykładem wzmocnienia podłoża za pomocą żywic epoksydowych jest kościół pw. św. Antoniego w Dąbrowie Górniczej-Gołonogu (ryc. 11a) [10], a metodą elektroosmozy – osłabiona skarpa kościoła pw. św. Anny w Warszawie (ryc. 11b).

- Także fundamenty istniejących obiektów zabytkowych podlegają pracom naprawczym [11]. Jednym ze sposobów, stosowanych zwłaszcza w odniesieniu do świątyń drewnianych, jest podbetonowywanie (z lokalną wymianą) zniszczonych fundamentów wykonanych w postaci drewnianych belek opartych w narożach na głazach, a w przęsłach nierzadko stabilizowanych dębowymi przyciosami w postaci lekko sklinowanych plastrów pnia dębowego. Podbetonowywanie odbywa się odcinkami, a przykład takiego rozwiązania przedstawiono na ryc. 12.

- Uszkodzenia sakralnych obiektów zabytkowych wynikać mogą także z ich niewłaściwego użytkowania. Przyczynami mogą być: brak okresowej konserwacji urządzeń zbierających i odprowadzających wodę opadową i gruntową (np. drenażu, rowów odwadniających), brak bieżących napraw, nieodpowiednie zabezpieczenie pomieszczeń przed oddziaływaniem czynników atmosferycznych itd. Przykłady takich uszkodzeń to mur ogrodzeniowy wokół kościoła pw. Trójcy Świętej w Będzinie (ryc. 13a), a także silnie zawilgocone ściany w części przyziemnej kościoła pw. św. Marcina w Ćwiklicach (ryc. 13b). Destrukcji muru sprzyjają wpływy atmosferyczne, a zawilgoceniu ścian nieprawidłowo wyprofilowany teren wokół obiektu.

- Problemy geotechniczne w odniesieniu do zabytkowych obiektów sakralnych mają również inne przyczyny. Mogą one być następstwem negatywnych skutków klęsk żywiołowych (pożary, powodzie, wichury, wojny), obecności drzew i krzewów często rosnących w sąsiedztwie tych obiektów, jak również prowadzonych w przeszłości prac budowlanych i funkcji, jaką obiekt i je-

dertaken [8]. Examples of the above mentioned activities and methods applied to ensure escarpment stability can be found in the literature of the subject. One of them can be the already mentioned historic monastery in Bołszowce in Ukraine [1], founded on rock deposits (marlstone). The threat of local loss of stability in the 16-meter-high escarpment has been posed by rainwater that makes the surface loess layers malleable (which finally confirmed the need to carry out surface drainage). Without it the stability of the monastic hill is preserved. An example of a local loss of escarpment stability caused by intensive rainfall, and a resulting serious threat to the historic church of St. Wojciech and St. George in Zator is shown in fig. 10.

- Activities aimed at reinforcing the ground base beneath them have also been undertaken in reference to the existing historical church objects. In such a situation the choice of reinforcement method is very important [9] – as it is determined by several factors, including conservation considerations. An example of ground base reinforced with epoxy resins is the church of St. Anthony in Dąbrowa Górnicza-Gołonóg (fig. 11a) [10], and using the method of electro-osmosis is the weakened escarpment beneath St. Anna's Church in Warsaw (fig. 11b).

- Footings of the existing historical objects also undergo repair work [11]. One of the methods used especially in reference to wooden churches is concrete underpinning (with local replacement) of damaged footings made in the form of wooden beams supported on boulders in the corners, and its spans frequently stabilized with oak plates in the shape of slightly wedged slices of an oak-tree trunk. Concrete underpinning is done by sections, and an example of such a solution is presented in fig. 12.

- Damage to historical church objects can also result from their improper use. The reasons for it can be: lack of periodical conservation of devices collecting and channelling rainwater and groundwater (e.g. drainage systems and ditches), no current repairs, insufficient protection of rooms against the impact of weather factors etc. Examples of such damage can be seen in the fence wall surrounding the church of Holy Trinity in Będzin (fig. 13a), as well as the damp walls in the basement of the church of St. Martin in Ćwiklice (fig. 13b). The wall is being destroyed by weather factors, while the wall are damp as a result of badly profiled area around the object.

- Geotechnical problems concerning historical church objects are also of other origin. They can be a consequence of negative results of natural disasters (fires, floods, gale winds, wars), of the impact of trees and shrubs densely growing in the vicinity of those objects, as well as of construction work carried out in the past, and function the object and its surrounding used to serve. In each case undertaking any modernisation work gives rise to case-specific geotechnical problems. And so:
  - The trees and shrubs surrounding historical church objects pose a threat to them which is still underestimated (fig. 14a). They lower the degree of subsoil humidity, and the penetrating roots can crumble the object foundations. In turn cutting down trees, especially those growing close, increases the humidity of the soil. Increase in humidity as well as its decrease

go otoczenie pełniły. Podejmowanie jakichkolwiek prac modernizacyjnych w każdym przypadku rodzi określone problemy geotechniczne. I tak:

- Niedocenianym dostatecznie zagrożeniem dla zabytkowych obiektów sakralnych są drzewa i krzewy rosnące w ich otoczeniu (ryc. 14a). Obniżają one wilgotność podłoża, a korzenie penetrując je mogą rozsądzać fundamenty obiektów. Wycięcie drzew, zwłaszcza blisko rosnących, powoduje z kolei zwiększenie zawilgocenia podłoża. Zarówno wzrost zawilgocenia, jak i jego zmniejszenie skutkować mogą pęcznieniem i skurczem gruntu, a obydwa zjawiska przejawiać się mogą powstaniem zarysowań i niszczeniem obiektu [12]. Istniejący stan równowagi powinien być kontrolowany. Nie powinno się go zaburzać w sposób nagły, wycinając stare (ryc. 14b) lub sadząc nowe drzewa, chyba że towarzyszyć temu będą inne działania, takie jak założenie izolacji czy zdrenowanie terenu.
- Teren wokół niektórych zabytkowych obiektów sakralnych pełnił w przeszłości i pełni także dzisiaj funkcję cmentarzy (ryc. 15a). Oznacza to w przypadku podejmowania prac inwentaryzacyjnych (ryc. 15b), ziemnych i budowlanych konieczność współpracy projektanta z archeologami. Podłoża gruntowego nie można utożsamiać tylko z gruntem.

#### 4. Podsumowanie

Poprawne posadowienie obiektów budowlanych i inżynierskich należy do trudniejszych problemów, z którymi musi zmierzyć się projektant. Stopień trudności zależy od warunków gruntowo-wodnych w podłożu, rodzaju obiektu, przepisów prawnych, a także charakteru i zakresu podjętych prac budowlanych. Towarzyszące tym działaniom problemy geotechniczne nabierają szczególnego znaczenia w odniesieniu do obiektów zabytkowych, w tym obiektów sakralnych, poddanych m.in. pracom konserwatorskim i remontowym. Przesądza o tym charakter tych obiektów, ich wiek oraz przepisy prawne. Charakter obiektów przejawia się najczęściej złożonością rozwiązań konstrukcyjnych, wiek różnorodnością stosowanych materiałów i brakami dokumentacji technicznej a przepisy prawne narzuceniem określonych procedur postępowania.

Problemy geotechniczne pojawiające się najczęściej w tej sytuacji i wymagające tym samym rozwiązania dotyczą przede wszystkim zdefiniowania warunków gruntowo-wodnych w podłożu obiektu i jego posadowienia, zabezpieczenia obiektu przed wodami gruntowymi i opadowymi oraz wpływami geodynamicznymi, a także skutkami podejmowanych prac budowlanych w samych obiektach i ich sąsiedztwie oraz ich właściwego użytkowania.

Rozwiązywanie problemów geotechnicznych w odniesieniu do zabytkowych obiektów sakralnych, niezależnie od dużej wiedzy i doświadczenia geotechnika, wymaga ścisłej współpracy wielu specjalistów związanych z budownictwem, architekturą, archeologią i konserwacją. W dodatku każdy z analizowanych obiektów jest inny, a więc przynależne mu problemy natury geotechnicznej wymagają indywidualnej analizy i przyjętych do realizacji rozwiązań.

can bring about swelling and shrinking of the ground, and both phenomena can result in cracking and deterioration of the object [12]. The existing state of balance ought to be controlled. It should not be suddenly disturbed by cutting down old (fig. 14b) or planting new trees, unless they are accompanied by other operations such as putting in insulation or draining the area.

- For ages the areas around some historical churches have functioned as cemeteries (fig. 15a). It means that in case of undertaking inventory work (fig. 15b), earthwork or construction work it is necessary for the designer to cooperate with archaeologists. The subsoil cannot be identified merely as ground.

#### 4. Conclusion

Proper founding of building and engineering objects can be regarded as one of more serious problems which the designer has to face. The degree of difficulty depends on soil and water conditions in the ground, the kind of object, legal regulations, as well as the character and range of undertaken building work. Geotechnical problems accompanying this work acquire additional significance in reference to historical objects, including churches, subject to e.g. conservation and renovation work. It is determined by the character of those objects, their age and legal regulations. The character of objects is most frequently manifested in the complexity of constructive solutions, their age in the diversity of materials used and lack of technical documentation, and legal regulations in imposing certain procedures.

Geotechnical problems most frequently occurring in such a situation, and therefore requiring solutions, concern mainly the issue of determining the ground and water conditions in the object subsoil, its footing, protecting the object against groundwater, rainwater and geodynamic influences, and against the impact of building work carried out in the objects themselves and their neighbourhood, as well as their proper use.

Regardless of the vast knowledge and experience of the geotechnician, solving geotechnical problems concerning historical church objects requires close cooperation of various specialists connected with building, architecture, archaeology and conservation. Moreover, each of the analysed objects is different, so corresponding problems of geotechnical nature require an individual analysis and solutions approved for realisation.



## Literatura

- [1] Sękowski J.: *Poprawne posadowienie – warunkiem niezawodności pracy budowli*. Materiały Konferencyjne Sympozjum „Trwałość Materiałów i Konstrukcji Budowlanych”, Kamień Śl., 2005, s. 68-71.
- [2] Sękowski J., Łupieżowiec M., Bartoszek Z., Kras P., Pawlak D.: *Stateczność wzgórz klasztornego w Boleszowcach. Zespół klasztorny BOŁSZOWCE*. Monografia Spotkanie z zabytkiem, 1 (I), 2007, s. 27-35, Wydział Budownictwa Politechniki Śląskiej.
- [3] Sękowski J., Kwiecień S., Bartoszek Z., Wziątek K.: *Geotechniczne warunki posadowienia kościoła pw. Trójcy Świętej w Będzinie*. Monografia Spotkanie z zabytkiem, 4 (III), 2009, s. 7-14, Wydział Budownictwa Politechniki Śląskiej.
- [4] *Fundamentowanie*. T. 1, praca zbiorowa pod redakcją E. Dembickiego, Arkady, Warszawa 1987.
- [5] Białostocki R., Marczewski Z.: *Rozpoznawanie warunków wodno-gruntowych*. Wydawnictwo Komunikacji i Łączności, Warszawa 1979.
- [6] Kawulok M.: *Szkody górnicze w budownictwie*. Instytut Techniki Budowlanej, Warszawa 2010.
- [7] Sękowski J., Kwiecień S., Bartoszek Z.: *Geotechniczne warunki posadowienia kościoła pw. św. Bartłomieja przy ul. Toszeckiej w Gliwicach*. Monografia Spotkanie z zabytkiem, 2 (II), 2008, s. 7-14. Wydział Budownictwa Politechniki Śląskiej.
- [8] Stilger-Szydło E.: *Posadowienie budowli infrastruktury transportu lądowego. Teoria – projektowanie – realizacja*. Dolnośląskie Wydawnictwo Edukacyjne, Wrocław 2005.
- [9] Pisarczyk S.: *Geoinżynieria. Metody modyfikacji podłoża gruntowego*. Oficyna Wydawnicza Politechniki Warszawskiej 2005.
- [10] *Ekspertyza konstrukcyjna budynku kościoła pw. św. Antoniego w Dąbrowie Górniczej-Golonogu*. Autorzy: Zbigniew Pająk, Jerzy Sękowski, Zygmunt Bartoszek, Gliwice 2003.
- [11] Masłowski E., Spizewska D.: *Wzmacnianie konstrukcji budowlanych*. Arkady, Warszawa 2000.
- [12] Jeż J., Jeż T.: *Nisza ekologiczna w geotechnice*. XVIII Ogólnopolska Interdyscyplinarna Konferencja Naukowo-Techniczna „Ekologia a budownictwo”, Bielsko-Biała 2007, s. 25-34.

---

## Streszczenie

W artykule zdefiniowano wybrane problemy geotechniczne, jakie występują najczęściej w zabytkowych obiektach sakralnych, omawiając ich wpływ na stan techniczny tych obiektów i ilustrując je odpowiednimi przykładami. Problemy te dotyczą zasadniczo: podłoża gruntowego i szeroko rozumianego posadowienia obiektów, zabezpieczenia ich przed wodami gruntowymi i opadowymi oraz wpływami geodynamicznymi, oraz skutków podejmowania prac budowlanych w samych obiektach i ich sąsiedztwie, jak również ich użytkowania.

Problemy geotechniczne w odniesieniu do zabytkowych obiektów sakralnych mają swoją specyfikę, o czym przesądza charakter tych obiektów, ich wiek, a także przepisy prawne. Rozwiązywanie problemów geotechnicznych wymaga ścisłej współpracy wielu specjalistów związanych z budownictwem, architekturą, archeologią i konserwacją. Przytoczone w artykule przykłady potwierdzają powyższe tezy, jak również i to, że każdy z obiektów i przynależne mu problemy natury geotechnicznej wymagają indywidualnej analizy i przyjętych rozwiązań.

## Abstract

The article defines selected geotechnical problems which occur most frequently in historical church objects, discusses their impact on the technical state of those objects and illustrates them with suitable examples. The problems concern mainly: subsoil and widely understood object footings; protecting them against groundwater, rainwater and geodynamic influences; impact of building work carried out in the objects themselves and their neighbourhood, as well as their use.

In reference to historical church objects geotechnical problems are rather specific, which is determined by the character of those objects, their age as well as appropriate legal regulations. Solving geotechnical problems requires close cooperation of various specialists connected with building, architecture, archaeology and conservation. The examples quoted in the article confirm the above claims, as well as the fact that each of the objects and its individual problems of geotechnical nature require individual analysis and approved solutions.