



Prof. dr hab. inż. Wiesław BUCZKOWSKI, [kmbibr@au.poznan.pl](mailto:kmbibr@au.poznan.pl)  
Prof. dr hab. inż. Adam NIEDZIELSKI, [katgeotech@poczta.onet.pl](mailto:katgeotech@poczta.onet.pl)  
Akademia Rolnicza im. A. Cieszkowskiego w Poznaniu  
Dr inż. Janusz KOWALSKI, [janusz.kowalski@ikb.poznan.pl](mailto:janusz.kowalski@ikb.poznan.pl)  
Politechnika Poznańska

## **WPLYW WADLIWEGO POSADOWIENIA NA AWARIĘ KAPLICY**

### **THE INFLUENCE OF UNPROPER FOUNDATION ON THE DAMAGE OF THE CHAPEL**

**Streszczenie** W pracy opisano przypadek stanu awaryjnego budynku kaplicy. Na skutek braku rozpoznania podłoża gruntowego doszło do częściowego posadowienia budynku na terenie wyrobiska żwiru co było przyczyną nadmiernych i nierównomiernych osiadań fundamentów i spowodowało silne spękanie ścian. Na podstawie badań geotechnicznych i konstrukcyjnych zaproponowano i wykonano wzmocnienie fundamentów, sklamrowanie pęknięć w ścianach oraz spięcie budynku ściągamami naprężonymi termicznie. Zakres i sposób naprawy okazały się skuteczne i przywróciły budynkowi kaplicy pełną sprawność techniczną.

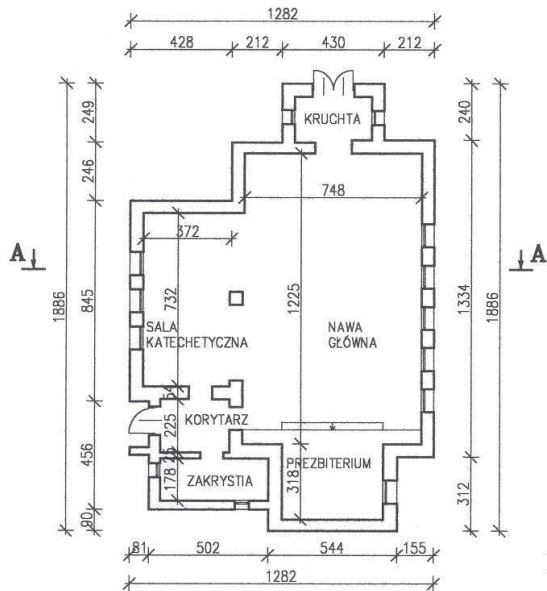
**Abstract** The paper presents the damage of the chapel. Following the lack of proper description of the soil conditions within the former gravel pit, a part of the building was founded on a layer of excavation backfill consisting of various geomaterial. Excessive and uneven settlements of the building foundations which were observed resulted in huge cracks of walls and floor. Having conducted geotechnical and construction research, foundation reinforcement, clamps of wall cracks and thermally tightened bowstrings were designed and executed. The range and methods of repair proved effective and enabled safe and proper use of the chapel.

### **1. Wprowadzenie**

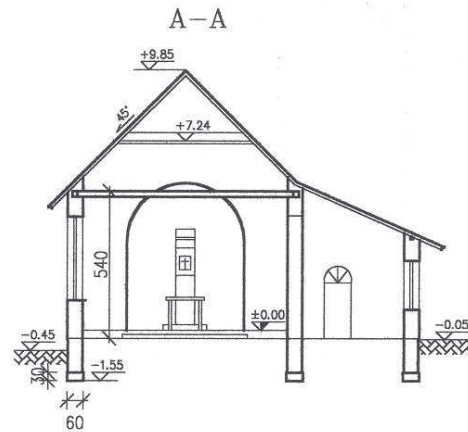
Artykuł dotyczy analizy przyczyn dynamicznie narastającego procesu pęknięcia ścian i odkształceń posadzki w budynku kaplicy rzymsko-katolickiej, zlokalizowanej na terenie Wielkopolski oraz opracowania i wykonania stosownych napraw i wzmocnień przywracających obiektowi pełną sprawność techniczną. Obiekt ten wzniesiono pod koniec lat 80-tych XX w. w technologii tradycyjnej, posadawiając go częściowo na obszarze zasypanej żwirowni. Pierwsze, drobne zarysowania pojawiły się na ścianach zewnętrznych już w kilka miesięcy po oddaniu kaplicy do użytkowania. W miarę upływu czasu powstawały kolejne rysy, a rozwartość wcześniej zaobserwowanych systematycznie wzrastała. Równocześnie zaczęła pękać posadzka. Przemieszczenia pionowe, fragmentów posadzki z początkiem 2005 r. osiągnęły wartość powyżej 5,0 cm. Płaszczyzna spękanej posadzki uległa pochyleniu w kierunku ściany zewnętrznej. W zaistniałej sytuacji władze kościelne wyłączyły obiekt z użytkowania.

## 2. Krótki opis konstrukcji kaplicy

Analizowana kaplica została zaprojektowana w układzie halowym, dwunawowym, jednokondygnacyjnym, o zróżnicowanej szerokości naw.



Rys. 1. Schematyczny rzut przyziemia



Rys. 2. Przekrój poprzeczny

Nawa główna ma długość 13,34 m i szerokość: 8,54 m. Od strony południowej przylega do niej prezbiterium o wymiarach 3,12 x 5,44 m, a od strony północnej usytuowana jest kruchta o wymiarach 2,40 x 4,30 m. Wysokość nawy głównej – od terenu do okapu wynosi 5,10 m, a do kalenicy 10,30 m.

Otoczający kaplicę teren jest obniżony w stosunku do posadzki o 0,05 do 0,45 m. Nad nawą główną wykonano dach drewniany, dwuspadowy o konstrukcji jętkowej.

Znajdująca się w nawie bocznej sala katechetyczna, której wymiary po obrysie zewnętrznym wynoszą: 4,28 x 8,45 m, pokryta jest dachem krokwiowym, jednospadowym. Maksymalna wysokość tego pomieszczenia powyżej posadzki wynosi 5,27 m.



Rys. 3. Widok ogólny kaplicy od strony północno-wschodniej

Przeprowadzone badania i pomiary wykazały, że ściany zewnętrzne kaplicy mają grubość 51 cm i wykonane zostały z cegły sitówki i szczelinówki. Znajdujący się poniżej fundament

wykonany z gruzobetonu nie posiada żadnych odsadzek. Jego szerokość jest równa szerokości muru. Głębokość posadowienia fundamentów wynosi 1,1 m poniżej poziomu terenu. Lokalnie w poziomie posadowienia stwierdzono występowanie głazów i kawałków drewna. Ławy fundamentowe nie zostały zazbrojone prętami podłużnymi. Łuki nad oknami w ścianach zewnętrznych wykonano z cegły ceramicznej pełnej klasy „10” na zaprawie cementowo-wapiennej „3” o grubości 2 cegły.

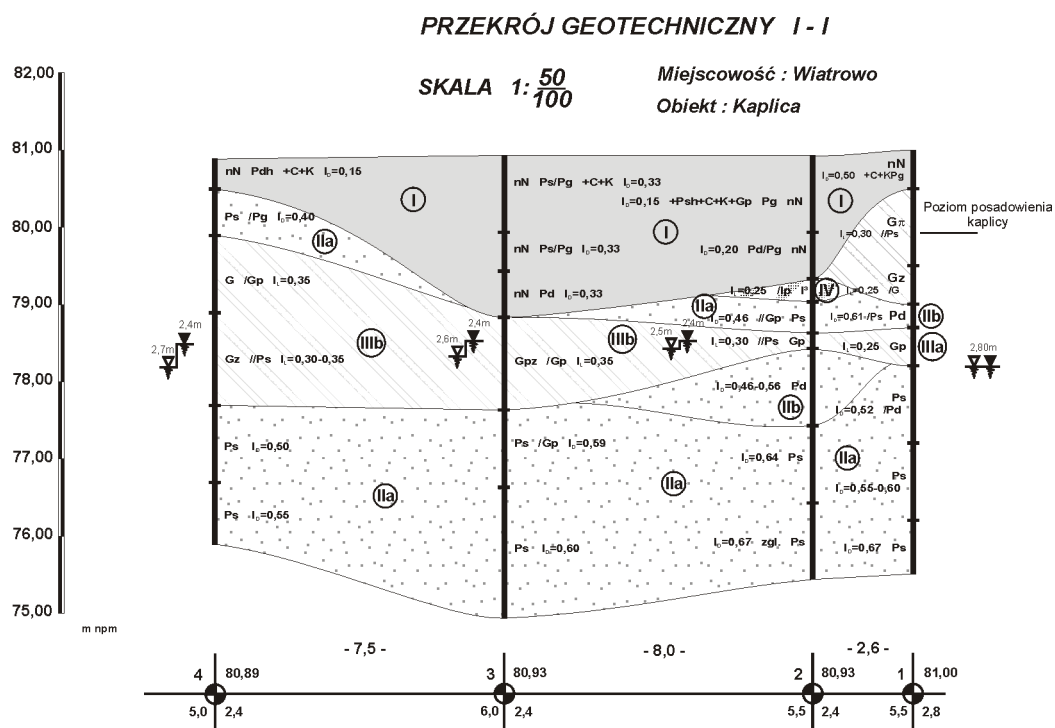
### 3. Warunki gruntowo wodne

W celu ustalenia rzeczywistych warunków gruntowo-wodnych w sąsiedztwie spękanych i zarysowanych ścian wykonano 6 odwiertów usytuowanych w narożach zewnętrznych kaplicy oraz wzdłuż najbardziej spękanej ściany wschodniej. Odległość między otworami wynosiła średnio około 7-8 m, a ich głębokość dochodziła do 6 m.

W otworach tych stwierdzono, że nasypy niebudowlane tworzące powierzchnię warstwę podłoża mają miąższość od 0,2 m do 2,1 m. Najgłębsze zaleganie utworów nasypowych występowało pod najbardziej spękaną ścianą wschodnią kaplicy.

Występujące w rejonie posadowienia kaplicy grunty nasypowe to mieszanina piasków drobnych, średnich i piasków gliniastych, zawierająca gruz ceglany i betonowy, kamienie, domieszkę humusu, pojedyncze kawałki gałęzi i korzeni.

Wyżej opisana warstwa podścielona jest gruntami spoistymi o miąższości od 0,3 m do 0,8 m, lokalnie dochodzi do 2,2 m. Piaski drobne i średnie, dominujące w podłożu przewarstwione są lokalnie gruntami gliniastymi. Warstwa zbudowana z glin piaszczystych a miejscami glin pylastych, glin i glin zwięzłych ma miąższość od kilkudziesięciu centymetrów do blisko 2,0 m. Głębsze warstwy podłoża, poniżej 2,5 m zbudowane są wyłącznie z piasków średnich (rys. 4).



Rys. 4. Przekrój geotechniczny I-I wzdłuż ściany wschodniej kaplicy.

Na podstawie wyników sondowań lekką sondą dynamiczną (DPL) ustalono, że grunty nasypowe są w stanie luźnym. Ich stopień zagęszczenia zmieniał się od wartości 0,15 do 0,33. Poniżej głębokości 2,0 m piaski drobne i średnie mają stopień zagęszczenia od 0,40 do 0,66. Stopień plastyczności  $I_L$  gruntów spoistych dochodzi do wartości 0,35. Ustabilizowany poziom zwierciadła wody gruntowej zmierzono na głębokościach 2,3 m do 2,8 m poniżej terenu. W większości otworów poziom wody nawiercono w warstwie piasków zalegających pod przewarstwieniem gliniastym. Z wywiadu środowiskowego w terenie wynika, że poziom ten może być wyższy o około 50 cm.

#### 4. Opis stanu istniejącego

Szczegółowe oględziny ścian, konstrukcji dachu i posadzek w kaplicy, połączone z wykonaniem niezbędnych pomiarów inwentaryzacyjnych wykazały, że najbardziej zniszczone były: ściana zewnętrzna – podłużna (wschodnia) i przyległa do niej posadzka w kaplicy oraz ściana wewnętrzna poprzeczna, oddzielająca nawę główną od prezbiterium. Na ścianie zewnętrznej wschodniej, na obu jej powierzchniach widoczne były zarysowania i pęknięcia muru o rozwartości dochodzącej do 8-9 mm, układające się we wszystkich możliwych kierunkach: poziomym, pionowym i ukośnym.



Rys. 5. Spękania widoczne na ścianie zewnętrznej





Rys. 6. Widok spękań na wewnętrznej powierzchni ścian zewnętrznych.

Koncentracja tych uszkodzeń widoczna była głównie na filarkach międzyokiennych oraz w bezpośrednim ich sąsiedztwie.

Największe pod względem rozwartości pęknięcia muru stwierdzono na ścianie poprzecznej, oddzielającej nawę główną od prezbiterium, nad otworem łukowym, w tzw. „kluczu” łuku. Jego rozwartość dołem wynosiła 17 mm i zanikała ku górze.



Rys. 7. Widok pęknięć i zarysowań na ścianie poprzecznej

Spękania posadzki w kaplicy wraz z przemieszczeniami pionowymi widoczne były wzdłuż ściany zewnętrznej wschodniej. Spękania te miały w zasadzie charakter nieregularny i

koncentrowały się w paśmie szerokości około 1,80 m od ściany zewnętrznej. Wielkość przemieszczeń pionowych, tworzących uskoki, wynosiła lokalnie około 5,0 cm.



Rys. 8. Spękana posadzka z lastriko (widoczne przemieszczenie pionowe)

#### 4. Mechanizm powstania zniszczeń

Usytuowanie oraz charakter stwierdzonych zarysowań i spękań ścian zewnętrznych i wewnętrznych kaplicy a także jej posadzki wskazują jednoznacznie, że ich przyczyną jest wadliwie zaprojektowane i wykonane posadowienie budynku. Pozostałe czynniki, w tym błędy projektowe i bardzo niski poziom wykonawstwa mają charakter drugorzędny, które jedynie proces zniszczeń przyspieszyły i spotęgowały. Do czynników tych należy zaliczyć:

- w przypadku projektowania: brak zbrojenia podłużnego ław fundamentowych oraz zbyt mała ich szerokość, a także brak wieńca żelbetowego, usztywniającego cały budynek i jego ściany; zaprojektowano i wykonano tylko murlatę opartą swobodnie na murze, bez żadnych skotwień,
- w zakresie wykonawstwa: brak właściwych izolacji przeciwwilgociowych, niewłaściwe wyprofilowanie spadku terenu wokół kaplicy ( w kierunku ścian, zamiast odwrotnie), zastosowanie zróżnicowanych pod względem jakościowym i wytrzymałościowym elementów ściennych itp. a także brak rynien i rur spustowych, które odprowadzałyby wody opadowe poza rejon murów fundamentowych.

Główną przyczyną zaobserwowanych zniszczeń było częściowe posadowienie budynku na nasypie niekontrolowanym. W takiej sytuacji wielkość osiadań jest praktycznie nie do ustalenia, podobnie jak i miejsca w których one występują.

W analizowanym przypadku, w nasypach stwierdzono występowanie gruzu, kawałków drewna, humusu, co dodatkowo komplikuje proces osiadania. Znajdujące się w nasypach elementy drewniane, w miarę upływu czasu ulegają rozkładowi biologicznemu, powodując powstanie wewnątrz gruntu licznych pustek i wolnych przestrzeni, które sprzyjają procesowi nierównomiernego osiadania.

Wskutek wadliwie ukształtowanego terenu wody opadowe sływały w kierunku budynku, i migrowały w głąb zatrzymując się na stropie gruntów spoistych, wywołując ich uplastycznienie a także zagęszczenie gruntów leżących powyżej.

Brak zbrojenia podłużnego fundamentów powodował, że ulegały one odkształceniom wraz z podłożem, a w konsekwencji spowodowały powstawanie rys i pęknięć w najsłabszych miejscach opartych na nich murów, czyli w stykach filarów z murami podokiennymi. Powstaniu zarysowań i pęknięć sprzyjał charakter obciążeń tych elementów. Filarki

obciążone były ciężarem własnym i dachem, a mury podokiennie przenosiły jedynie ciężar własny.

Przekazywanie obciążeń z dachu wiąże się z oddziaływaniem sił rozporu na filarki międzyokienne. Siły rozporu powodują, że przy braku usztywnienia w poziomie oparcia więźby dachowej, filarki pracują jak wsporniki obciążone na końcu siłami skupionymi: pionową od ciężaru dachu oraz poziomą wywołaną rozporom.

Filarek w swej dolnej części jest związany z murem podokiennym, a zatem w miejscu tym występuje maksymalny moment zginający, którego wartość znacznie przekracza nośność muru w tym przekroju. Dowodem tego są rysy i pęknięcia poziome na wewnętrznej powierzchni ściany, czyli po stronie włókien rozciąganych, których rozwartość jest znacznie większa niż na powierzchni zewnętrznej. Destrukcyjny wpływ rozporu na filarki międzyokienne potwierdzają również wyniki pomiarów wychyleń murów zewnętrznych w poziomie okapu. Są one zróżnicowane, ale ich średnia wartość kształtuje się w granicach 5 – 6 cm. Wielkość tych wychyleń powoduje wzrost mimośrod, na którym działa obciążenie pionowe, a jednocześnie przyczynia się do wzrostu wyężenia całego przekroju.

## 6. Sposób wykonania wzmocnień i napraw

Spośród wielu znanych metod umożliwiających likwidację występujących uszkodzeń i nieprawidłowości, zdecydowano się wykorzystać te, które spełniały następujące kryteria:

- umożliwiały wykorzystanie tanich i powszechnie dostępnych materiałów budowlanych,
- pozwoliły na wykonanie prac wzmocniająco–naprawczych przy zastosowaniu nieskomplikowanych technologii i ich realizację przy udziale stosunkowo nisko wykwalifikowanych pracowników (miejskowa siła robocza),
- skracały cykl wykonania prac do niezbędnego minimum, ponieważ kaplica została wyłączona z eksploatacji, a zapotrzebowanie społeczne na jej użytkowanie było bardzo duże.

W celu przywrócenia budynkowi pełnej sprawności technicznej i umożliwienia dalszej bezpiecznej eksploatacji, należało:

- zahamować proces dalszego osiadania ścian zewnętrznych budynku,
- zlikwidować destrukcyjny wpływ rozporu spowodowany pracą więźby dachowej, (wychylenie ścian zewnętrznych z pionu) i pęknięcie muru nad łukiem, w ścianie między nawą i prezbiterium,
- zlikwidować wszystkie rysy i pęknięcia występujące na ścianach i filarkach,
- usunąć skutki nierównomiernego osiadania posadzki wzdłuż wschodniej ściany zewnętrznej.

W celu likwidacji procesu nierównomiernego osiadania gruntu i posadowionego na nim fundamentu zdecydowano się na przegłębienie fundamentów do głębokości ok. 2,0 m poniżej poziomu terenu i posadowienia ich na warstwie nośnej gruntu z jednoczesnym poszerzeniem fundamentów.

Większość rys i pęknięć stwierdzona na powierzchni murów analizowanej kaplicy to przede wszystkim skutek przekroczenia nośności granicznej murów w strefie włókien rozciąganych. Dlatego też usuwanie ich powiązane z wprowadzeniem elementów stalowych o różnych kształtach i formie, których zadaniem było przenoszenie sił rozciągających.

W zależności od lokalizacji rys i pęknięć, ich rozwartości, charakteru uszkodzeń itp. zaproponowano:

- metodę osiatkowań,
- metodę zszywek,
- metodę spinania muru klamrami.

W przypadku spękanego i odkształconego pasma posadzki wzdłuż ściany zewnętrznej zaproponowano wyburzenie istniejącej posadzki, całkowitą wymianę gruntu w podłożu na grunt zagęszczony warstwami do stopnia zagęszczenia  $I_D = 0,7$  i wykonanie nowej posadzki.

Prace remontowe rozpoczęto od sklamrowania oraz „zszycia” istniejących rys i pęknięć. Większe przelotowe pęknięcia zabezpieczono zakładając na murach z obu stron szczelin płaskowniki połączone przez całą grubość muru prętami stalowymi  $\Phi 12$  z nagwintowanymi końcami. Płaskowniki osadzono w uprzednio wykutych bruzdach. Pęknięcia o mniejszej rozwarości lub widoczne tylko z jednej strony muru zabezpieczono poprzez osadzenie zszywek w kształcie litery ] osadzonych w wywierconych otworach, po przeciwległych stronach pęknięcia oraz w bruzdzie prostopadłej do rysy łączącej te otwory. Zszywki osadzono na zaprawie cementowej.

W następnej kolejności przystąpiono do wykonania konstrukcji odciążającej ścianę wschodnią. Na wysokości około 80 cm powyżej posadzki w kaplicy wykuto w murze bruzdę podłużną o głębokości 5 cm. Na tym samym poziomie wykuto również podobną bruzdę po stronie zewnętrznej ściany. W bruzdach tych na zaprawie cementowej osadzono ceowniki ([NP180) spięte śrubami  $\Phi 16$ . Osadzone ceowniki podparto zastrzałami wykonanymi z okrągłaków. Rozwiązanie konstrukcji odciążającej pokazano na rys. 9.



Rys. 9. Widok konstrukcji odciążającej.

Kolejnym etapem było odcinkowe, podbetonowanie fundamentu, po uprzednim usunięciu gruntu nasypowego. Fundamenty wzmocniono zarówno od strony zewnętrznej ściany, jak i od środka kaplicy, po usunięciu pasa przyściennego posadzki. Na murach fundamentowych w trakcie wzmocniania fundamentów ułożono izolację przeciwwilgociową.

Po wzmocnieniu fundamentów w celu wyeliminowania destrukcyjnego wpływu rozporu założono ściągi z prętów o średnicy 24 mm, po obu stronach ściany poprzecznej, oddzielającej nawę główną od prezbiterium. Ściągi o różnej długości naprężono termicznie, z wykorzystaniem śrub rzymskich.

Ostatnim etapem było odtworzenie posadzki w pasie przy ścianie wschodniej, po uprzednim wypełnieniu otworów powstałych przy podbetonowaniu fundamentów, zagęszczonym gruntem piaszczystym. Po zakończeniu prac remontowo-wzmacniających kaplicę wyposażono w rynny i rury spustowe.

Wykonane naprawy okazały się skuteczne. Kaplica została po remoncie ponownie oddana do eksploatacji. Po roku użytkowania nie stwierdzono ponownych zarysowań murów ani posadzki.



## 7. Wnioski

1. Zasadniczą przyczyną powstałych uszkodzeń i spękań elementów konstrukcyjnych kaplicy były warunki gruntowo-wodne, które nie zostały rozpoznane przed opracowaniem projektu architektoniczno-budowlanego kaplicy. Lokalizacja kaplicy na terenie dawnej żwirowni wymagała szczególnej ostrożności w projektowaniu fundamentów. Należało liczyć się przede wszystkim z obecnością materiałów nasypowych w stanie luźnym w warstwie przypowierzchniowej oraz ze zróżnicowaną miąższością nasypów.
2. Brak właściwego i rzetelnego rozpoznania geotechnicznego podłoża gruntowego jaki miał miejsce w analizowanym przypadku powinien być sygnałem przypominającym o konieczności wykonania badań geotechnicznych na etapie projektowania budowli. Mimo obowiązku przeprowadzenia takich badań, w praktyce często obserwuje się oszczędzanie na ich wykonywaniu. Nierzadko projektuje się budowle na podstawie skromnego rozpoznania makroskopowego podłoża.
3. Stwierdzone rysy i pęknięcia oraz odkształcenia poziome ścian i filarków a także przemieszczenia pionowe posadzki to konsekwencja wystąpienia błędów projektowych i wykonawczych, co doprowadziło do kumulowania ich skutków, a następnie do stanu przedawaryjnego budynku, zagrażającego bezpieczeństwu użytkowników.
4. Zaproponowane i zrealizowane wzmocnienia oraz naprawy zostały dostosowane do warunków i lokalnych możliwości wykonawczych. Okazały się one skuteczne, bowiem mimo upływu roku od chwili zakończenia prac remontowych, nie pojawiły się żadne nowe pęknięcia, zarysowania i odkształcenia.

## Literatura

1. Eugeniusz Masłowski, Danuta Spiżewska: „Wzmacnianie konstrukcji budowlanych”, Arkady, Warszawa 2000.
2. K.S. Brand: „Konstrukcje budowlane. Naprawy, wzmocnienia i przeróbki”. Wydawnictwo Komunikacji i Łączności, Warszawa 1972.
3. PN-B-02479 Geotechnika. Badania geotechniczne. Zasady ogólne.

