



WZMOCNIENIE ZNACZNIE WYCHYLONEJ ATTYKI KOŚCIOŁA NA DALSZE WPŁYWY GÓRNICZE

MARIAN KAWULOK, *m.kawulok@itb.pl*

LESZEK CHOMACKI

LESZEK SŁOWIK

Instytut Techniki Budowlanej, Oddział Śląski

Streszczenie: Artykuł dotyczy ozdobnej attyki kościoła znajdującego się na Górnym Śląsku, która wykazywała już znaczne wychylenie. Na skutek planowanej eksploatacji górniczej jej wychylenie ulegnie zwiększeniu, co przy dodatkowych obciążeniach wstrząsami górniczymi może zagrozić jej stateczności. W celu uniknięcia powstania stanu awaryjnego omawianej konstrukcji konieczne jest jej wzmocnienie. W artykule przedstawiono wyniki obliczeń i opis wykonanego wzmocnienia.

Słowa kluczowe: tereny górnicze, szkody górnicze, wzmocnienie konstrukcji, wstrząsy górnicze.

1. Wprowadzenie

Budynek kościoła zbudowany został w II połowie XIX w. Jest to obiekt murowany z cegły, wzniesiony w stylu neogotyckim. Świątynia zbudowana na planie krzyża ma nawę główną, dwie nawy boczne i transept poprzeczny. Gabarytowe wymiary rzutu poziomego kościoła wynoszą 27,4×45,0. Obiekt zasadniczej bryły kościoła został wcześniej zabezpieczony na wpływy eksploatacji górniczej [1].

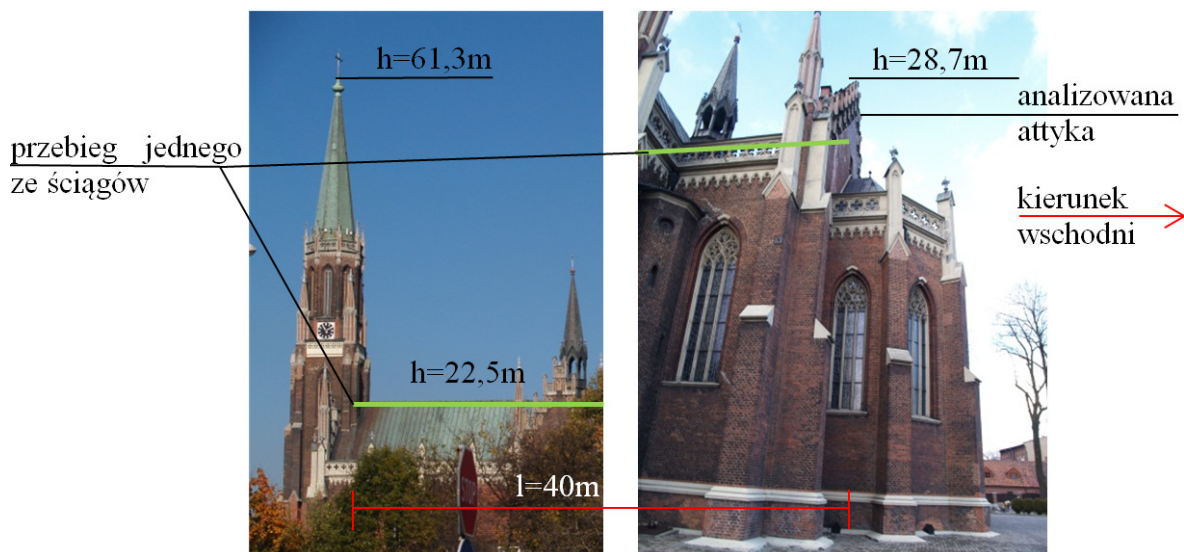
Pod obiektem kościoła planowane jest prowadzenie eksploatacji górniczej, wywołującej dodatkowe oddziaływania na konstrukcję.

Z uwagi na usytuowanie przedmiotowej attyki na konstrukcji nośnej kościoła, jako niezależnego elementu samonośnego, wpływ na jej konstrukcję wynikał wyłącznie z oddziaływań powodowanych nachyleniem terenu oraz wstrząsami górniczymi.

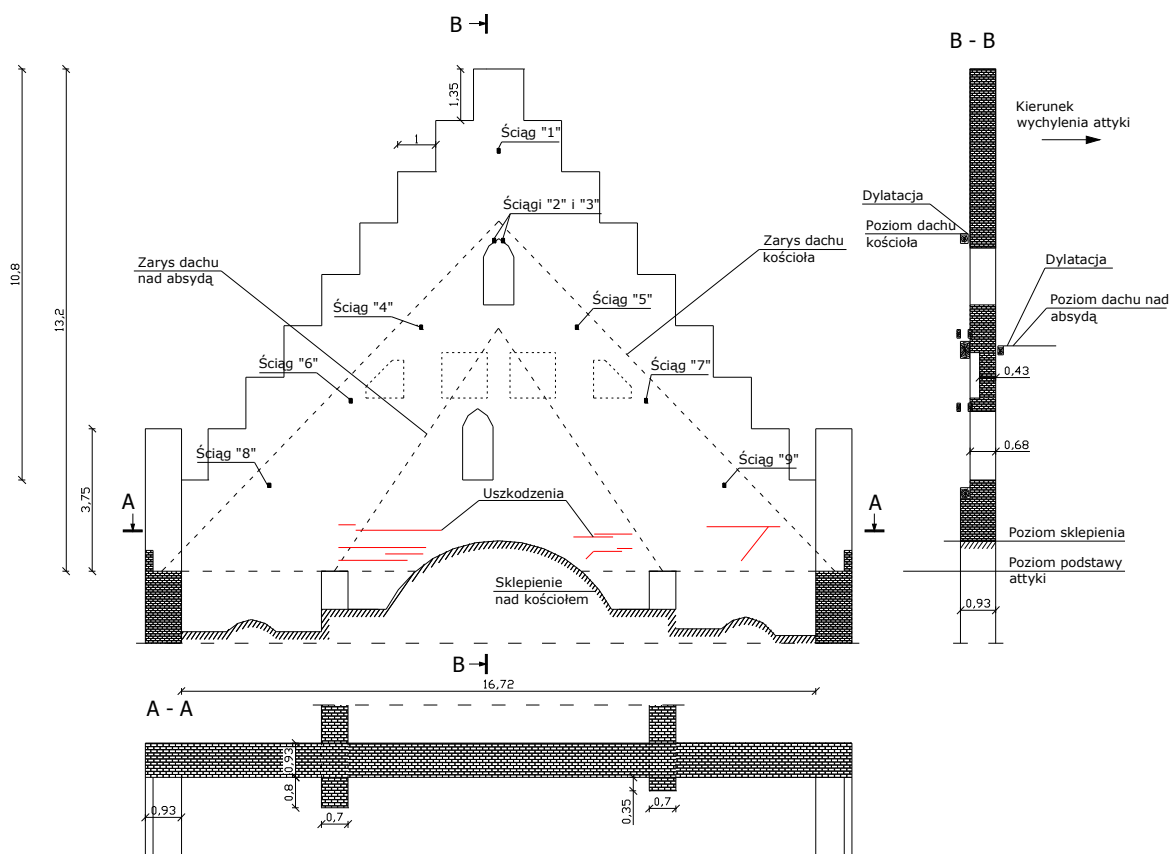
2. Charakterystyka attyki

Pomiędzy dachem nawy głównej, a usytuowanym nieco niżej zadaszeniem absydy wykonana została ozdobna ściana attyki, która w 2005 r., z powodu nadmiernego wychylenia od pionu, została przytrzymana dziewięcioma stalowymi ściągami (rys. 1, 2). Ściąg „1” ma długość 4,0 m, a pozostałe ściągi są podwieszone do pławi dachowych, przebiegają przez całą długość kościoła (ok. 40 m) i zakotwiczone są w wieży lub w zewnętrznej zachodniej ścianie świątyni.

Ściana attyki o grubości 0,68 m z poszerzeniem u podstawy do 0,93 m ma całkowitą wysokość, licząc razem z ozdobnymi blankami, ok. 13,2 m i szerokość 16,72 m. Attyka ma kształt trójkąta o skokowej zmianie wysokości, a wykształcone schodki mają wysokość 1,35 m i szerokość 0,7–1,2 m (rys. 2). Mur attyki został wykonany z cegły dziurawki na zaprawie wapiennej. Drewniana konstrukcja dachu kościoła znajduje się przy ścianie attyki, a jedynie kleszcze zostały wpuszczone w konstrukcję murową na głębokość ok. 5 cm. Nie stwierdzono napierania drewnianej więźby na mur attyki.



Rys. 1. Widok wieży kościoła i analizowanej attyki od strony południowej

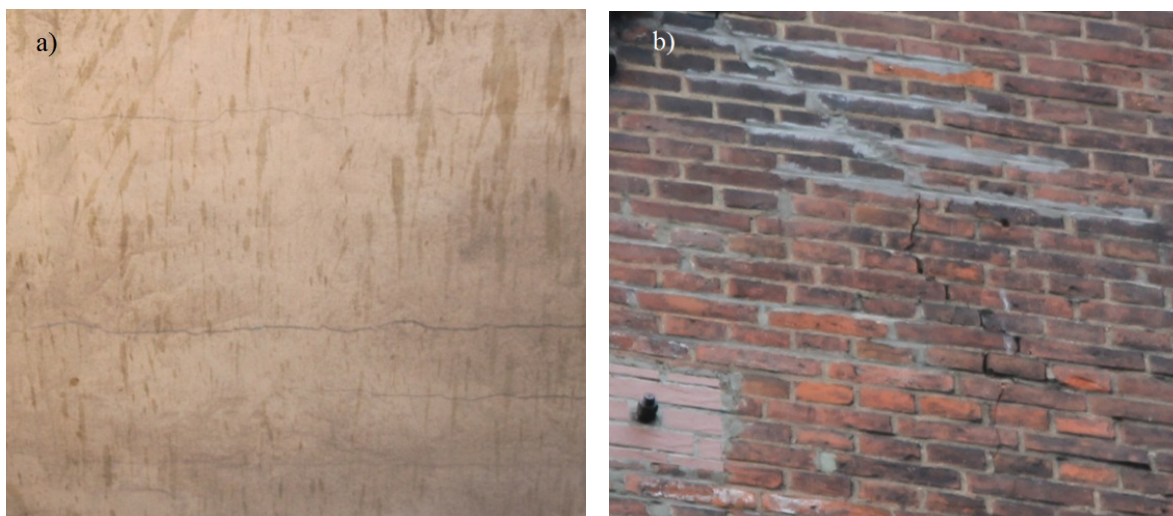


Rys. 2. Widok, rzut i przekrój attyki

3. Stan techniczny

Od strony wewnętrznej zaobserwowano głównie poziome zarysowania attyki w jej dolnej części, widoczne na poddaszu kościoła. Umieszczenie tych rys przedstawiono kolorem czerwonym na rys. 2, ich długość wynosiła do 2,3 m, a rozwartość do 3 mm. Przykładowe uszkodzenia przedstawiono na rys. 3a. Ogłędziny zewnętrzne attyki wykazały występowanie

lokalnych spękań i zarysowań muru od strony wschodniej, które umiejscowione są w sąsiedztwie zakotwień ściąągów, co ilustruje rys. 3b.



Rys. 3. Zaobserwowane uszkodzenia: a) widoczne od wewnątrz b) widoczne z zewnątrz

Konstrukcja analizowanej attyki wykazuje istotne wychylenie od pionu w kierunku wschodnim, czyli na zewnątrz budynku kościoła. Największe wartości wychylenia attyki przy wykonanych pomiarach wyniosły:

- grudzień 2004 r. 38,2‰,
- marzec 2013 r. 44,4‰ – na podstawie tych pomiarów wykonywano opinie o wzmocnieniu.

Należy zwrócić uwagę, że wychylenie attyki jest mniej więcej dwukrotnie większe w stosunku do wychylenia bryły kościoła, które dla wschodniej ściany w marcu 2013 r. wyniosło od 19,0‰ do 21,4‰.

Do przeprowadzonych w p. 4 obliczeń, przyjęto istniejące wychylenie attyki $T_b = 45,0‰$.

4. Obliczenia

4.1. Prognozowane wpływy górnicze

Planowana eksploatacja górnicza spowoduje zwiększenie nachylenia terenu o prognozowaną wartość $T = 4,0‰$ w kierunku wschodnim. Zakładając zgodność wychylenia kościoła z nachyleniem terenu, obliczeniowe zwiększenie wychylenia attyki, z zastosowaniem częściowego współczynnika bezpieczeństwa równego $\gamma_f = 1,5$ [2], wynosi $\Delta T_b = 1,5 \cdot 4,0 = 6,0‰$.

W rejonie lokalizacji kościoła prognozowane są wstrząsy indukowane planowaną eksploatacją górniczą o energiach $5 \cdot 10^6$ i $5 \cdot 10^7$ J. Przewidywane są maksymalne wartości przyspieszeń $a = 375\text{--}400 \text{ mm/s}^2$, przy czasie trwania 1,2–3,0 s. Incydentalnie mogą natomiast występować wstrząsy, o wysokich energiach, charakteryzowanych przyspieszeniami $a = 700\text{--}725 \text{ mm/s}^2$. Do obliczeń przyjęto $a_{inc} = 725 \text{ mm/s}^2$.

4.2. Model obliczeniowy

Obliczeniowy model numeryczny ściany opracowano na podstawie danych zawartych w dostępnej dokumentacji, pomiarów własnych oraz wyników pomiarów wychyleń dla stanu z marca 2013 r. i prognozowanego przyrostu wychylenia attyki od planowanej do podjęcia eksploatacji górniczej.

Obliczenia statyczne przeprowadzono za pomocą programu komputerowego Autodesk Structural Analysis ROBOT bazującego na metodzie elementów skończonych (MES).

Wzdłuż dolnej poziomej krawędzi attyki zadane zostało utwierdzenie ściany (na rys. 2 oznaczone jako „poziom podstawy attyki”). W miejscach lokalizacji ściąągów kotwicznych zamodelowane zostały podpory sprężyste, o współczynnikach sprężystości równych:

- $K_z = EA/L = 108\,840,65 \text{ kN} / 4,4 \text{ m} = 24\,663 \text{ kN/m}$ dla ściągu „1” o długości 4,4 m,
- $K_z = EA/L = 108\,840,65 \text{ kN} / 40 \text{ m} = 2\,721 \text{ kN/m}$ dla ściągów „2”–„9” o długości 40 m.

Model ten nie uwzględnia sklepienia nad kościołem, które zachodzi swoim obrysem w podstawę attyki.

Parametry materiałowe muru określono na podstawie badań makroskopowych przeprowadzonych podczas wizji lokalnej, z uwzględnieniem zaleceń podanych w opracowaniach [3] oraz [4].

4.3. Obciążenia

Wartości charakterystyczne obciążeń ciężarem własnym obliczono na podstawie wymiarów geometrycznych ściany, przy uwzględnieniu ciężaru objętościowego muru z cegły dziurawki równego $\gamma = 14 \text{ kN/m}^3$ [5].

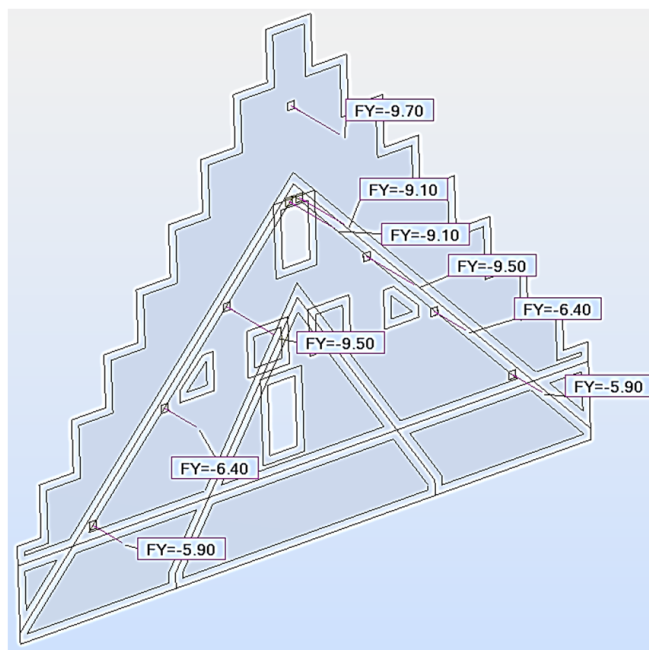
Obciążenie wiatrem określono według normy [6]. Przyjęty został najbardziej niekorzystny wariant obciążenia analizowanej ściany z wiatrem działającym w kierunku zgodnym z wychyleniem attyki, uwzględniając w obliczeniach:

$p_{k1} = +0,35 \text{ kPa}$ – parcie wiatru, występujące na powierzchni poza zarysem dachu kościoła,

$p_{k2} = -0,20 \text{ kPa}$ – ssanie wiatru, na całej powierzchni attyki.

Obciążenie pochodzące od wychylenia attyki od pionu zostało zamodelowane poprzez obrót attyki o kąt $2,86^\circ$ względem podstawy, co odpowiada wartości równej sumie istniejącego wychylenia i prognozowanego przyrostu nachylenia terenu $T_{bp} = T_b + \Delta T_b = 45,0\text{‰} + 6,0\text{‰} = 51,0\text{‰}$.

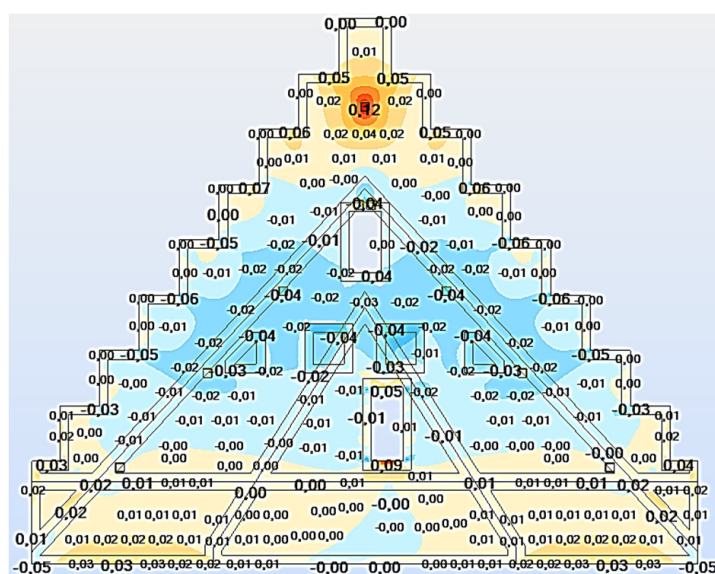
W celu określenia wpływu prognozowanych wstrząsów górniczych na attykę, przeprowadzono stosowną analizę modalną, i wyznaczono zastępcze siły statyczne przyłożone w miejscach usytuowania ściągów. Wartości i rozkład tych sił, jako niekorzystniejszych od obciążenia wiatrem [2], został przedstawiony na rys. 4.



Rys. 4. Siły [kN] od prognozowanego wstrząsu górniczego, dla $a_{inc} = 725 \text{ mm/s}^2$

4.4. Analiza wyników obliczeń

Na podstawie przeprowadzonych obliczeń numerycznych uzyskano wartości naprężeń dla różnych wariantów obciążeń. W celu analizy stateczności atyki rozpatrzono, jako najniekorzystniejsze, naprężenia główne σ_I . Wyniki dla najbardziej niekorzystnej kombinacji obciążeń ciężarem własnym, z uwzględnieniem prognozowanego wychylenia, i incydenalnego wstrząsu górniczego przedstawiono na rys. 5. Prezentowana mapa naprężeń przedstawia „warstwę dolną”, która znajduje się po zachodniej stronie atyki, w której występują siły rozciągające.

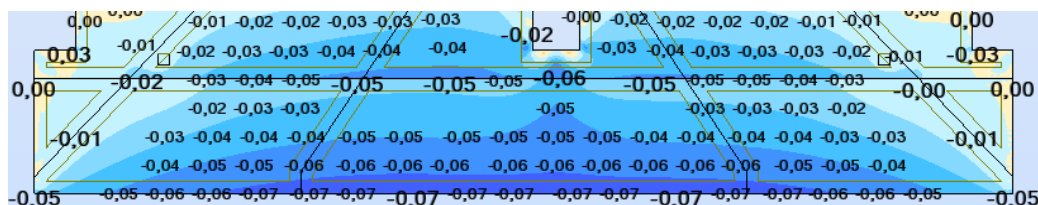


Rys. 5. Mapa naprężeń σ_I dla obciążenia ciężarem własnym i wstrząsem górniczym [MPa] (warstwa dolna)

Powyższe wyniki wskazują na możliwość wystąpienia naprężeń rozciągających w podstawie atyki, czyli w miejscach aktualnie uszkodzonych. W tej sytuacji zachodzi konieczność wzmocnienia konstrukcji atyki, w celu poprawienia jej stateczności.

4.5. Oszacowanie potrzebnego wzmocnienia konstrukcji

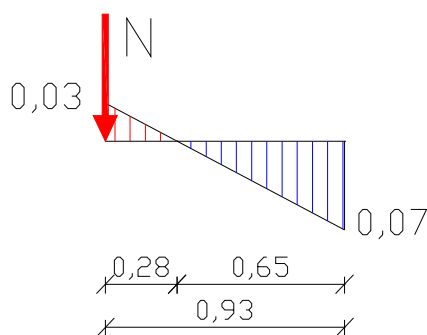
W celu odpowiedniego wzmocnienia atyki obliczono wartość siły jaka musi zostać przeniesiona przez przewidywane usztywnienie jej konstrukcji. Siła ta odpowiada bryle naprężeń rozciągających, powstających w podstawie atyki, widocznych na rys. 5. W celu określenia zasięgu tych naprężeń na grubości ściany, na rys. 6 przedstawiono fragment stosownej mapy dla „warstwy górnej”, czyli z drugiej strony atyki



Rys. 6. Fragment mapy naprężeń σ_I dla obciążenia ciężarem własnym i wstrząsem górniczym [MPa] (warstwa górna)

Przybliżony rozkład najbardziej niekorzystnych naprężeń głównych σ_I w podstawie atyki przedstawiono na rys. 7.

Na tej podstawie można szacować, że wartość rozciągającej siły jaka musi zostać przeniesiona przez zaprojektowane wzmocnienie, aby zapewnić stateczność attyki musi być nie mniejsza niż $N = 70,2 \text{ kN}$.



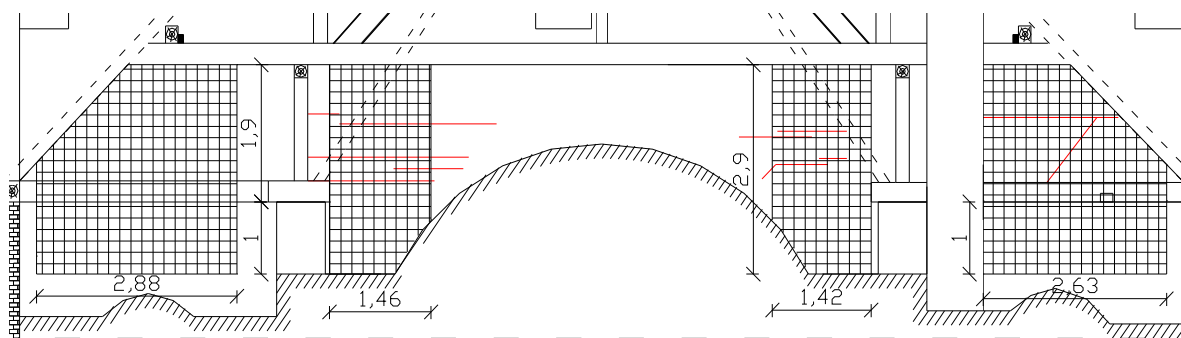
Rys. 7. Rozkład naprężeń σ_I [MPa] u podstawy attyki (wymiary w m)

5. Koncepcja zabezpieczenia attyki

Koncepcję zabezpieczenia opracowano analizując uwarunkowania techniczne, dotyczące głównie geometrii attyki, jej usytuowania, stanu deformacji a przede wszystkim uwarunkowania statyczno-wytrzymałościowe i stan uszkodzeń, aby zachować jej bezpieczeństwo. Rozważone zostały konwencjonalne sposoby wzmocnienia, lecz z uwagi na brak możliwości odpowiedniego ich zakotwienia, zaproponowano następujące wzmocnienie attyki z obu jej stron.

Od wewnątrz – wzmocnienie ściany poprzez zastosowanie siatek z włókna węglowego Ruredil X Mesh C10. Siatki tego typu nie ulegają korozji i charakteryzują się prostym montażem: na oczyszczonej powierzchni murowej nakłada się warstwę zaprawy ze spoiwa hydraulicznego, w której osadza się (zatapia) siatkę i przykrywa drugą warstwą zaprawy. Wzmocnienie to zapewnia przeniesienie dodatkowych naprężeń rozciągających, które mogą wystąpić w murze na skutek przyrostu wychylenia i oddziaływań wstrząsów. Zastosowanie siatki pozwala na dobrą współpracę wzmocnienia z powierzchnią muru i powinno zapobiec powstawaniu kolejnych uszkodzeń.

Przeprowadzono wstępne obliczenia, dla siatki rozmieszczonej jak na rys. 8, których rezultaty przedstawiono poniżej.



Rys. 8. Propozycja rozmieszczenia siatek wzmacniających

Proponowane wzmocnienie pozwoli na przeniesienie siły: $N = s \cdot F \cdot d$, gdzie:

$s = 8,4 \text{ m}$ – szerokość wzmocnienia, $F = 700 \cdot 10^3 \text{ kPa}$ – dopuszczalne naprężenie,

$d = 0,047 \cdot 10^{-3} \text{ m}$ – obliczeniowa (sprowadzona) grubość siatki.

$$N = 8,4 \text{ m} \cdot 700 \cdot 10^3 \text{ kPa} \cdot 0,047 \cdot 10^{-3} \text{ m} = 276,36 \text{ kN} ,$$

przy spełnieniu wymagań stawianych przez producenta, o długości zakotwienia większej od 0,25 m.

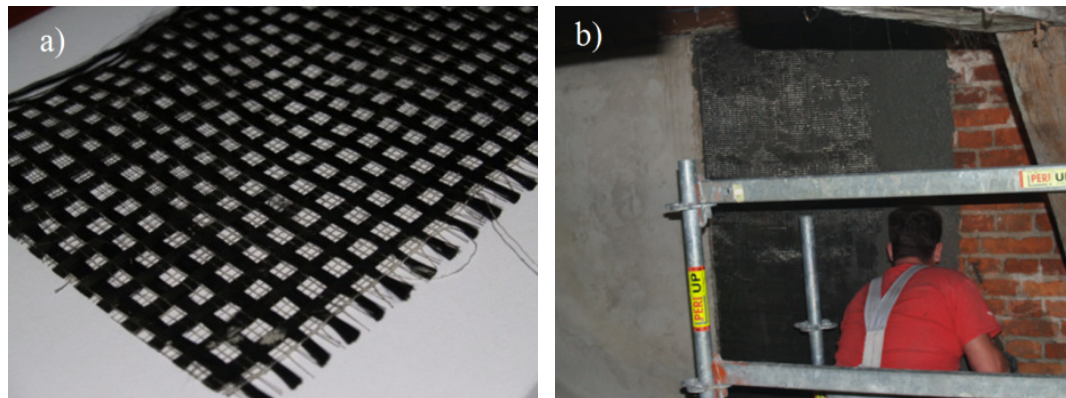
Jest to znacznie większa wartość od siły potrzebnej, lecz wykonanie siatki przyjęto na całej szerokości s , mając na uwadze zachowanie warunków bezpieczeństwa [7] w sytuacji, gdy:

- występują trudności w oszacowaniu faktycznej efektywności ściągów, wynikającej z możliwości ich odkształcalności termicznej w granicach do 2 cm oraz z „niepewności” ich zakotwienia,
- decydujące o stateczności obciążenia, wynikające z oddziaływania wstrząsów górniczych, mogą ulec zmianie w wyniku nowych prognoz górniczych,
- występuje także niepewność prognoz dotyczących wychylenia attyki.

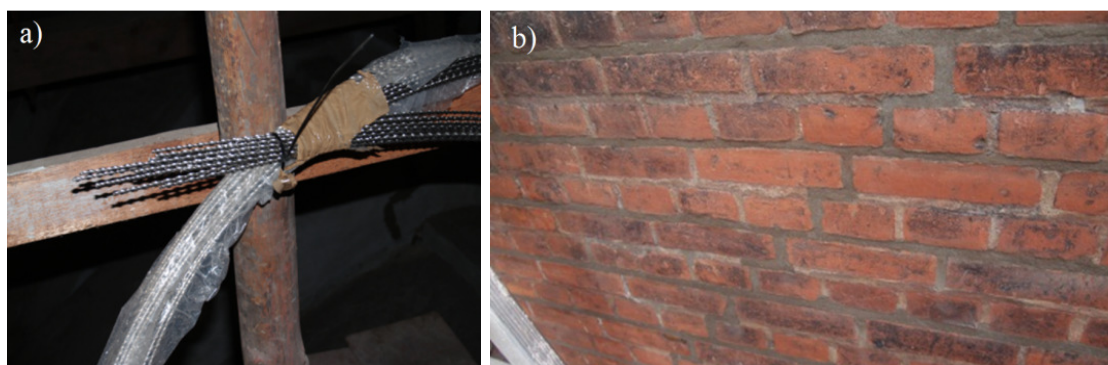
Ponadto rozwiązanie to zostało przez autorów potraktowane jako promocyjne w zagadnieniach dotyczących budownictwa na terenach górniczych, w tym przede wszystkim wzmocnień konstrukcji podlegających wpływom wstrząsów górniczych.

Z zewnątrz – przyjęto naprawę pęknięć i wzmocnienie ściany poprzez zastosowanie systemu HELIFIX, polegającego na wprowadzeniu w mur specjalnych prętów wykonanych ze stali nierdzewnej. Żłobienie minimalnych szczelin na wprowadzenie prętów następuje tarczą diamentową i nie narusza struktur muru. Otulenie w spoinach prętów specjalną zaprawą do spoinowania obiektów zabytkowych na bazie cementu lub żywicy poliestrowych o module sprężystości porównywalnym z zaprawą pierwotną, daje doskonałe zespolenie muru i zapobiega przyszłym pęknięciom. Zaleca się wykonać wzmocnienie w miejscach uszkodzeń, w co trzeciej poziomej spoinie z zakotwieniem wynoszącym ok. 1,0 m po obu stronach rysy.

Podjęto decyzję o wykonaniu prac wzmacniających. Widok na siatkę z włókna węglowego oraz zdjęcie z realizacji przedstawiono na rys. 9, natomiast pręty systemu HELIFIX przed wbudowaniem oraz widok na mur z zewnątrz po wykonaniu wzmocnienia przedstawiono na rys. 10.



Rys. 9. Widok na: a) wbudowaną siatkę b) realizację wzmocnienia



Rys. 10. Widok na: a) zastosowane pręty b) mur po wzmocnieniu

6. Podsumowanie

Przeanalizowano konstrukcję znacznie wychylonej od pionu attyki kościoła, która wykazywała uszkodzenia konstrukcji. Mając na uwadze planowaną eksploatację górniczą, która może generować wstrząsy górnicze oraz zwiększyć wychylenie attyki podjęto decyzję o przeprowadzeniu stosownej analizy stateczności konstrukcji, która wskazała na potrzebę jej wzmocnienia.

Wykonane zostało zabezpieczenie polegające na wbudowaniu siatki z włókna węglowego od strony wewnętrznej oraz prętów ze stali nierdzewnej od strony zewnętrznej w miejscach wcześniej zaobserwowanych uszkodzeń.

W trakcie aktualnie prowadzonego nadzoru obiektu kościoła, przy zwiększeniu się wychylenie attyki nawet o 11‰ (z 44,4‰ w marcu 2013 r. do 55,4‰ w listopadzie 2014 r.) oraz wielokrotnym wpływie wstrząsów górniczych nie zaobserwowano powstania nowych uszkodzeń w dolnych partiach attyki. Wystąpiły natomiast nowe rysy od strony wewnętrznej w miejscach powyżej zastosowanej siatki.

W związku z tym konieczne jest prowadzenie dalszych obserwacji zachowania się konstrukcji attyki.

Literatura

1. Kawulok M., Sobik K. Wzmocnienie budynku sakralnego na oddziaływania intensywnej krzywizny terenu górniczego. Materiały XXIII Konferencji Naukowo-Technicznej „Awarie Budowlane”. Politechnika Szczecińska, Szczecin-Międzyzdroje 2007.
2. Kawulok M. Projektowanie budynków na terenach górniczych. Instrukcja ITB nr 416/2006. Wydawnictwo ITB, Warszawa 2006.
3. Matysek P. Witkowski M. Badania wytrzymałości i odkształcalności XIX-wiecznych murów ceglanych. Materiały XXVI Konferencji Naukowo-Technicznej „Awarie Budowlane”. ZUT, Szczecin-Międzyzdroje 2013.
4. Matysek P. Identyfikacja wytrzymałości na ściskanie i odkształcalności murów ceglanych w obiektach zabytkowych. Monografia, Wydawnictwo Politechniki Krakowskiej, Kraków 2014, 151 s.
5. PN-82/B-02001. Obciążenia budowli. Obciążenia stałe.
6. PN-77/B-02011. Obciążenia w obliczeniach statycznych. Obciążenia wiatrem.
7. Lewicki B. Ocena bezpieczeństwa istniejących konstrukcji murowych. Materiały XIV Ogólnopolskiej Konferencji Warsztat Pracy Projektanta Konstrukcji. Naprawy i wzmocnienia, T. I, część 2. PZITB. Oddział w Bielsku Białej. Ustroń 1999.

STRENGTHENING OF SIGNIFICANTLY TILTED CHURCH ATTIC FOR FURTHER MINING INFLUENCES

Abstract: The article deals with ornate attic of the church located in Upper Silesia Region, which showed a significant tilting. Due to projected mining exploitation will increase the tilt, and with additional loads mining tremors could threaten its stability. Appropriate numerical calculations were carried out and the strengthening method of the attic in locations of the observed damages was proposed. Completed strengthening allowed to avoid the creation of state emergency in the analyzed structure

Keywords: mining areas, mining damages, strengthen the construction, mining tremors.