BUDOWNICTWO
CZASOPISMO TECHNICZNE
TECHNICAL TRANSACTIONS
CIVIL ENGINEERING
WYDAWNICTWO POLITECHNIKI KRAKOWSKIEJ
2-B/2009
ZESZYT 9
ROK 106
ISSUE 9
YEAR 106

MARIAN KAWULOK*

WZMOCNIENIA TRADYCYJNYCH OBIEKTÓW SAKRALNYCH PODLEGAJĄCYH WPŁYWOM EKSPLOATACJI GÓRNICZYCH

STRENGTHENING OF TRADITIONAL CHURCH BUILDINGS SUBJECTED TO MINING INFLUENCES

S t r e s z c z e n i e

W artykule przedstawiono wnioski z obserwacji czterech obiektów sakralnych poddanych działaniu wpływów eksploatacji górniczej. Budynki charakteryzowały się różnymi poziomami wzmocnienia z uwagi na oddziaływania górnicze i poddawane były różnym wpływom górniczym. Z uwagi na brak szczegółowych danych odnośnie deformacji terenu porównywanie efektywności wzmocnień budynków nie jest możliwe, ale można wyciągnąć pewne wnioski odnośnie charakteru i zakresu zabezpieczenia analizowanych obiektów.

Słowa kluczowe: wpływy górnicze, deformacje terenu, zabezpieczenie budynków

A b s t r a c t

The conclusions from observations of four church buildings subjected to mining actions are presented in the paper. Buildings were characterized by different degree of the structure strengthening against mining influences. Also they were subjected to diverse mining actions which were characterized only by the summarized subsidence of the terrain. Because of the lack of more precise data relating ground deformations a comparison of the effectiveness of used strengthening is pointless. However, it is possible to draw conclusions concerned with the character and range of the precaution of the buildings.

Keywords: mining influences, terrain deformations, buildings protection

* Doc. dr hab. inż. – Instytut Techniki Budowlanej

BIBLIOTEKA CYFROWA POLITECHNIKI KRAKOWSKIEJ

1. Wprowadzenie

Obiekty sakralne wykonane w konstrukcji tradycyjnej, o murowanych ścianach nośnych i opierających się na nich sklepieniach, a w obiektach wielonawowych z pośrednimi filarami wewnętrznymi, charakteryzują się małą sztywnością przestrzenną i niską wytrzymałością na wszelkiego rodzaju oddziaływania powodujące deformację bryły, a przede wszystkim powstanie w konstrukcji sił rozciągających.

W tego typu obiektach posadowionych na terenach podlegających wpływom eksploatacji górniczej najniekorzystniejsze jest oddziaływanie poziomych odkształceń i krzywizny terenu na poprzeczne i podłużne układy nośne. W wyniku podążania fundamentów konstrukcji za deformującym się podłożem następują przemieszczenia ścian lub filarów w poziomie wezgłowi łuków i sklepień. Przemieszczenia te powodują, że w sklepieniach i łukach przekryć mogą się pojawić naprężenia rozciągające, podczas gdy ich konstrukcja jest przystosowana głównie do przenoszenia naprężeń ściskających. Zagrożenie to ma miejsce przede wszystkim w położeniu obiektu na wypukłej niecce górniczej, gdy na konstrukcję oddziałują poziome odkształcenia terenu o charakterze rozciągań (+ ε) i towarzysząca wypukła krzywizna (+K = 1/+R).

W fazie występowania zagęszczenia gruntu, powodowanego poziomymi odkształceniami o charakterze ściskań (-ε), ich oddziaływanie na konstrukcję nośną ma zwykle mniejsze znaczenie. Zazwyczaj jednak brak jest dostatecznego usztywnienia w poziomie posadowienia kościołów, co może spowodować uszkodzenia i wypiętrzenia posadzek.

Zagadnienia te, jak również zasady konstrukcyjnego wzmocnienia obiektów sakralnych na oddziaływania górnicze, były przedmiotem referatu na konferencji [1].

W niniejszym referacie podano wnioski z zachowania się czterech obiektów sakralnych pod wpływem oddziaływań górniczych. Obiekty te charakteryzowały się różnym stopniem wzmocnienia konstrukcji na wpływy eksploatacji górniczej. Podlegały także niejednakowym oddziaływaniom górniczym, które charakteryzowane są tylko poprzez sumaryczne obniżenie terenu, zawierające się zresztą w poszczególnych przypadkach w szerokich granicach od 1,0 m do 18 m. Ze względu na brak dokładniejszych danych odnośnie zaistniałych deformacji terenu nieuzasadnione byłoby porównanie efektywności zastosowanych wzmocnień. Można natomiast wnioskować odnośnie charakteru i zakresu ochrony danego obiektu.

Wszystkie prezentowane obiekty zostały wykonane w stylu neogotyckim, w okresieod II poł. XIX do pocz. XX wieku. Cechowały się rozczłonkowanym rzutem poziomym, znacznymi wymiarami i mocno zróżnicowaną przestrzennie bryłą. Były to obiekty 3-nawowe, z szerszą i wyższą nawą główną oraz dwoma nawami bocznymi. Od strony wejścia do kościoła usytuowana była wieża. Na rysunku 1 dla przykładu pokazano jeden z omawianych obiektów.



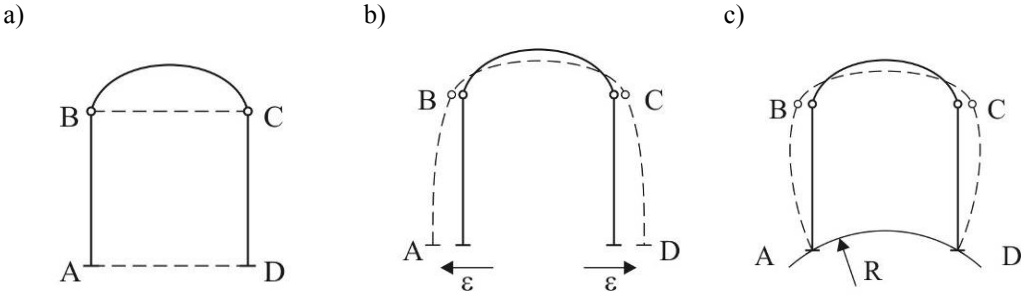
Rys. 1. Widok obiektu II

Fig. 1. General view of the object no II

BIBLIOTEKA CYFROWA POLITECHNIKI KRAKOWSKIEJ

2. Ogólne zasady konstrukcyjnego wzmocnienia obiektów sakralnych na oddziaływania górnicze

Podstawowe zasady przystosowania ustrojów nośnych obiektów sakralnych do oddziaływań górniczych pochodzących od niecki obniżeniowej, polegają na ograniczeniu lub zlikwidowaniu możliwości przemieszczeń fundamentów ścian oraz filarów w płaszczyźnie posadowienia A-D oraz poziomych przemieszczeń względowi sklepień/łuków w płaszcz. B-C (rys. 2a). Usztywnienia te mogą w istotnym stopniu zmniejszać lub nawet eliminować niekorzystny wpływy poziomych odkształceń podłoża (ε) na układ nośny (rys. 2b). Usztywnienie konstrukcji w poziomie względowi, czyli w płaszczyźnie B-C, prowadzi natomiast do zmniejszenia niekorzystnych efektów krzywizny terenu (K = 1/R) w pionowych elementach konstrukcyjnych A-B i C-D, a teoretycznie eliminuje jej wpływ na konstrukcję łuków czy sklepień (rys. 2c) [1, 2].



Rys. 2. Płaszczyzny usztywnień ustrojów nośnych:
a) w poziomie posadowienia A-D i w poziomie względowi B-C
b) wpływ odkształceń poziomych ε c) wpływ krzywizny terenu K = 1/R

Fig. 2. Planes of bracing the bearing structures:
a) at the level of foundations A-D and at the level B-C
b) influence of horizontal strains ε c) influence of terrain curvature K = 1/R

Usztywnienie konstrukcji kościołów w płaszczyźnie posadowienia wykonuje się za pomocą opasek zewn., ściągów lub przepony, co zwykle wiąże się z okresowym wyłączeniem obiektu z użytkowania.

Inny sposób wzmocnienia obiektów sakralnych przed oddziaływaniem poziomych odkształceń terenu opracował Ledwoń [3]. Polega on na wykonaniu w poziomie terenu obwodowej płyty żelbetowej obejmującej od zewnątrz cały budynek kościoła (rys. 3). Płyta jest krzyżowo zbrojona, a po obwodzie murów jest wykształcone pionowe żebro, powiązane ze ścianami kościoła.

Zabezpieczenia konstrukcji kościoła przed krzywizną terenu praktycznie nie można w pełni urzeczywistnić. Zazwyczaj stosowana jest zabudowa podłużnych i poprzecznych ściągów stalowych w poziomach względowi łuków. Ściągi te ograniczają jedynie przemieszczenia względowi sklepień w płaszczyźnie poziomej, a nie mają wpływu na pionowe przemieszczenia sklepień.

Doraźnie, w celu zabezpieczenia przed spadaniem tynków bezpośrednio na posadzkę, stosowane są siatki stalowe lub plastikowe rozciągnięte na cięgnach stalowych, także w poziomie względowi sklepień.

Wzmocnienie ścian zewnętrznych polega zasadniczo na obwodowym skotwieniu ścian w ich płaszczyznach, w poziomie fundamentów i względowi.

3. Zachowanie się obiektów sakralnych pod wpływem górniczych deformacji terenu

3.1. *Obiekt I* – Wzmocnienie za pomocą żelbetowej płyty w płaszczyźnie A-D, wg [3]

Budynek kościoła został wzniesiony pod koniec XIX w., o wymiarach rzutu poziomego 59,6x36,3 m (rys. 3) i wieży o wysokości około 60 m. Do czasu wykonania płyty obiekt uległ obniżeniu o ok. 3 m.

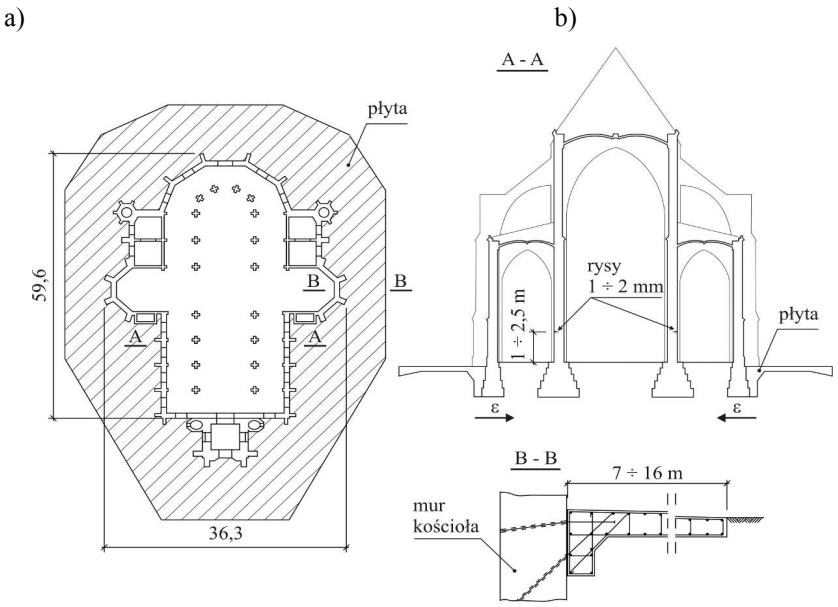
Po założeniu płyty, w wyniku zaistniałych deformacji górniczych kościół obniżył się o dalsze 2 m, a w jego konstrukcji stwierdzono:

- liczne zarysowania i spękania górnych partii ścian zewnętrznych oraz sklepień,
- poziome zarysowania zewnętrznej strony filarów, mające charakter jednostronnego rozwarcia o szerokości 1 - 2 mm, występującego na wysokości 1,0 - 2,5 m od poziomu posadzki, które

BIBLIOTEKA CYFROWA POLITECHNIKI KRAKOWSKIEJ

mogło powstać na skutek oddziaływania poziomych odkształceń zagęszczających grunt na kierunku poprzecznym obiektu (rys. 3b),

- deformacje i uszkodzenia posadzki kościoła, które stanowiły jedno z zasadniczych utrudnień w użytkowaniu obiektu.



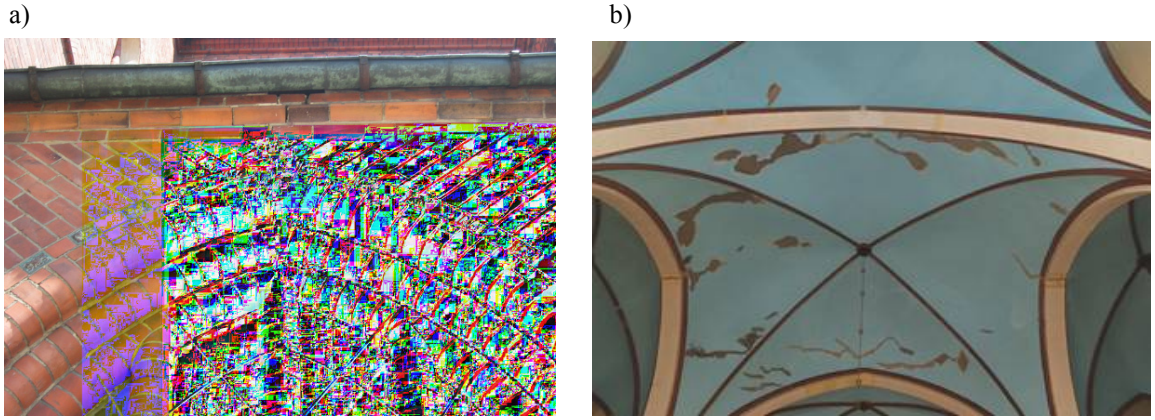
Rys. 3. Rzut poziomy budynku kościoła wzmocnionego zewnętrzną płytą żelbetową
a) rzut, b) przekrój kościoła A-A i przekrój płyty B-B

Fig. 3. Plan of church strengthened with RC external slab
a) plan of church, b) church cross-section A-A and slab cross-section B-B

3.2. *Obiekt II* – Wzmocnienie za pomocą żelbet. płyty i poprzecznego ściągu-rozpory w płaszcz. A-D

Wzniesiony w 1909 r. budynek kościoła miał gabarytowe wymiary w planie ok. 54x32 m, oraz wieżę o wysokości ok. 50 m (rys. 1).

W obiekcie wzmocnienie płytą uzupełniono poprzecznym, żelbetowym ściągiem-rozporą, założonym mniej więcej w połowie długości kościoła i wiążącym pod poziomem posadzki dwa wewnętrzne filary, wydzielające nawę główną, z zewnętrznymi ścianami podłużnymi.



Rys. 4. Przykładowe uszkodzenia murów:
a) ścian i sklepień, b) widoczne miejsca wykonanych napraw

Fig. 4. Examples of walls damages:
a) walls and vaults, b) visible places of conducted repairs

Od czasu wykonania płyty w 1976 r., kościół podlegał intensywnym wpływom eksploatacji górniczej, w wyniku której jego obniżenie wyniosło około 12 m. Podczas ujawniania się wpływów

BIBLIOTEKA CYFROWA POLITECHNIKI KRAKOWSKIEJ

górniczych w posadzce oraz w górnych partiach murów i w sklepieniach występowały, od początku założenia płyty, permanentnie intensywne i rozległe uszkodzenia (rys. 4). W ścianach i sklepieniach miały one charakter pęknięć. Poza płytą nie wykonano żadnych innych wzmocnień konstrukcji, dlatego powstające uszkodzenia były przez przeszło trzydziestoletni okres ujawniania się wpływów górniczych usuwane na bieżąco, za pomocą klejenia.

W celu ograniczenia wpływu skurczu betonu, płytę wykonano z pozostawieniem 9-ciu pasów o szer. 1,0 m, które wypełniono betonem później (po 3 tygodniach), nie zabezpieczając styków przed wpływami atmosferycznymi.

Po trzydziestu kilku latach istnienia płyty, zbrojenie w liniach styków uległo przerwaniu (najprawdopodobniej wskutek osłabienia działaniem korozji), a w konsekwencji nastąpiło także pęknięcie betonu płyty. W bezpośrednim sąsiedztwie pęknięć płyty pojawiały się uszkodzenia murów kościoła, w miejscach najbardziej osłabionych, czyli w linii najbliższego okna (rys. 5).



Rys. 5. Uszkodzenie płyty i murów kościoła

Fig. 5. Damages of slab and walls for the church

3.3. *Obiekt III* – Wzmocnienie płytą i ściągami-rozporami w płaszczyźnie A-D oraz wiotkimi ściągami w płaszczyźnie B-C

Budynek kościoła został wzniesiony w latach 60. XIX w., o wymiarach rzutu poziomego około 49x27 m (rys. 8). Jest to obiekt zabytkowy, w którym zostały wykonane następujące wzmocnienia konstrukcji z uwagi na oddziaływania górnicze:

- wiotkie ściągi stalowe, założone w poziomie wezgłowi sklepień, w kierunku podłużnym i poprzecznym,
- ściągi-rozpory, założone w poziomie posadowienia, w liniach filarów, także w kierunku podłużnym i poprzecznym,
- zewnętrzną płytę żelbetową.

Od dłuższego czasu w rejonie lokalizacji kościoła prowadzona była intensywna eksploatacja górnicza. Po ostatniej eksploatacji obniżenie kościoła osiągnęło około 18 m, a wychylenie filarów wewn. wynosiło do 25,6‰. W kierunku podłużnym obiektu nastąpiło wygięcie murów do krzywizny wklęsłej, o promieniu w granicach R ≅ -4 km do -5 km. W tej sytuacji podłużne, wiotkie ściągi stalowe, założone w poziomie wezgłowi sklepień, nie spełniały swojej roli.

W konstrukcji wystąpiły liczne i znaczne spękania ścian i sklepień, przede wszystkim w obrębie transeptu i części prezbiterialnej. Rozwartość spękań sklepień i ich odspojeń na połączeniach ze ścianami dochodziła w niektórych przypadkach do kilku centymetrów i istniała obawa o ich stateczność. Przykłady tych uszkodzeń przedstawiono na rys. 6, 7**.** Uszkodzenia te zostały usunięte za pomocą systemu Helifix[1].

[1] Projekt budowlany naprawy szkód górniczych sklepień w kościele p.w. Św. Krzyża, ul. Ks. Frenzla w Bytomiu-Miechowicach, systemem „Helifix" (bez robót tynkarskich i malarskich), oprac. mgr inż. R. Wąsowski, Bytom, listopad 2004r.

BIBLIOTEKA CYFROWA POLITECHNIKI KRAKOWSKIEJ



Rys. 6. Przykłady uszkodzeń sklepień
Fig. 6. Examples of vaults damages



Rys. 7. Odspojenie sklepienia wzdłuż ściany szczytowej transeptu
Fig. 7. Unbending of vaults from the transept wall

Prognozowano dalsze wpływy górnicze, o intensywności na poziomie ostatniej eksploatacji. Istniejące wzmocnienia konstrukcji okazały się niewystarczająco skuteczne i konieczne było ich uzupełnienie. W ramach dodatkowych zabezpieczeń obiektu, przy uwzględnieniu istniejących wzmocnień konstrukcji, wykonano sztywne stężenie w poziomie wezgłowi sklepień, ograniczające ich poziome przemieszczenia Poza sztywnymi prętami podłużnymi i poprzecznymi, przewidziano także założenie wiotkich ściągów przekątnych. Stężenie założono w górnym poziomie głowic filarów, bezpośrednio pod wezgłowiem sklepień, z wykorzystaniem wiotkich ściągów, wykonanego poprzednio wzmocnienia [4]. Widok wykonanego stężenia przedstawiono na rys. 8.

a) b)



Rys. 8. Stężenie kościoła w poziomie wezgłowi sklepień: a) schemat stężenia, b) widok fragm. konstrukcji
Fig. 8. Bracing of church at the level of vaults; a) bracing scheme, b) view of the part of structure

BIBLIOTEKA CYFROWA POLITECHNIKI KRAKOWSKIEJ

3.4. Wzmocnienie rozporami-ściągami w obydwu płaszczyznach

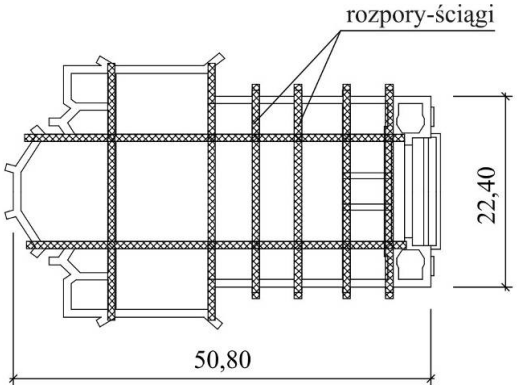
Budynek kościoła w rzucie poziomym jest w kształcie krzyża o wymiarach 22,4x50,8 m. Od strony wejścia wykonano dwie wieże o wysokości ok. 47 m, połączone ścianą czołową kościoła (rys. 9).

Konstrukcję nośną kościoła stanowią zewnętrzne ściany nośne wykonane w konstrukcji murowej oraz układ wewnętrznych filarów, wydzielających nawę główną kościoła. Nad nawami bocznymi Ściany i słupy powiązane są łukami ceglanymi. Przestrzeń między łukami wypełniona została gipsową łupiną, zbrojoną siatką.

W ramach wzmocnień konstrukcji obiektu na oddziaływania górnicze założono ściągi stalowe w górnych partiach ścian zewnętrznych oraz połączono, w poziomie posadowienia, dwóch symetrycznych wież w płaszczyźnie ściany frontowej.

W wyniku zaistniałych oddziaływań górniczych, określonych wpływami III kategorii deformacji ciągłych oraz wstrząsami o intensywności rzędu 10^8J, konstrukcja budynku uległa licznym uszkodzeniom polegającym głównie na:

- zarysowaniu ceglanych łuków sklepień, połączonym z intensywnymi uszkodzeniami, a nawet lokalnymi ubytkami w gipsowych sklepieniach,
- popękaniu i lokalnym wybrzuszeniu posadzki.



Rys. 9. Układ stężeń w obydwu płaszczyznach
Fig. 9. Bracing system in both planes

Prognozowano dalsze wpływy górnicze. W celu ich bezpiecznego przejęcia wykonano dwie płaszczyzny usztywniające ustrój nośny: w poziomie fundamentów, w formie układu żelbetowych rozpór-ściągów, oraz w poziomie wezgłowi sklepień, w formie sztywnego stężenia z profili stalowych. Układ usztywnień w obydwu płaszczyznach jest analogiczny, zgodny z rys. 9.

4. Podsumowanie

4.1. Na podstawie obserwacji zachowania się obiektów I, II i III, odnośnie wzmocnienia budynków sakralnych za pomocą obwodowej płyty żelbetowej, można sformułować następujące wnioski:

- siły poziome oddziaływujące na fundamenty ścian zewn. budynków są przejmowane przez płytę, która pracuje na te obciążenia jak tarcza; płyta stanowi zatem dobrą ochronę dolnych partii ścian zewnętrznych na poziome odkształcenia gruntu,
- stwierdzone uszkodzenia obiektów wskazują, że płyta nie chroni górnych partii konstrukcji przed wpływami krzywizny terenu i nie zapewnia stabilności fundamentów filarów wewnętrznych na przesunięcia wywołane poziomymi ruchami terenu, o czym świadczą stwierdzone poziome zarysowania filarów w obiekcie I; w konsekwencji powoduje to uszkodzenia sklepień oraz wyższych partii ścian i tym samym konieczność wykonywania doraźnych napraw występujących uszkodzeń,
- płyta wymaga odpowiednich zabezpieczeń na wpływy atmosferyczne, a przy ich braku może ulegać istotnej destrukcji, powodującej utratę jej skuteczności wzmocnienia ścian na ruchy poziome; w takich przypadkach wymagane jest także wykonanie doraźnych napraw samej płyty.

BIBLIOTEKA CYFROWA POLITECHNIKI KRAKOWSKIEJ

Niewątpliwą zaletą wzmocnienia budynków sakralnych za pomocą płyty żelbetowej jest to, że nie zachodzi potrzeba wykonywania robót budowlanych wewnątrz obiektu a tym samym nie ma potrzeby wyłączania budynku z użytkowania na dłuższy okres czasu, wymagany na wykonanie odpowiednich prac budowlanych wewnątrz obiektu. W czasie ujawniania się w konstrukcji skutków eksploatacji górniczej mogą wystąpić jednak krótkie, lecz częstsze przerwy w użytkowaniu obiektu, konieczne w celu wykonania doraźnych prac remontowych, względnie ograniczenia użytkowania określonych części budynku z uwagi na bezpieczeństwo ludzi.

4.2. Z zachowania się obiektu IV można wnioskować, że skuteczne zabezpieczenie ustroju nośnego tradycyjnych budynków sakralnych uzyskuje się poprzez wykonanie sztywnych stężeń w dwóch płaszczyznach – fundamentów i wezgłowi sklepień. Należy jednak zwrócić uwagę, że obiekt ten podlegał stosunkowo małym obniżeniom, z czym mogą być związane także mniejsze wartości odkształceń poziomych i krzywizn terenu, w stosunku do pozostałych obiektów, omówionych w referacie. W tej sytuacji prawidłową weryfikację powyższego stwierdzenia, o skuteczności zabezpieczenia tego typu, można będzie otrzymać na podstawie obserwowanych skutków, jakie wystąpią w obiekcie III, w wyniku wpływów planowanej eksploatacji górniczej.

4.3. Omówione sposoby wzmocnień nie eliminują deformacji i uszkodzeń posadzki, co niejednokrotnie stanowi istotną uciążliwość w użytkowaniu budynków.

L i t e r a t u r a

[1] K a w u l o k M., *Obiekty sakralne na terenach górniczych,* VII Konferencja N–T REW-INŻ. Kraków`2006, s.63-72.
[2] K a w u l o k M., *Protection of church buildings in mining areas*. Mat. IABSE Colloquium Berlin, Saving buildings in Central and Eastern Europe, Zurich 1998.
[3] LEDWOŃ J. A., *Budownictwo na terenach górniczych*, Arkady. W-wa 1983.
[4] K a w u l o k M., S o b i k K., *Wzmocnienie budynku sakralnego na oddziaływania intensywnej krzywizny terenu górniczego*, XXIII Konf. N–T Awarie Budowlane, Politechnika Szczecińska, Szczecin - Międzyzdroje 2007.

BIBLIOTEKA CYFROWA POLITECHNIKI KRAKOWSKIEJ