



Dr inż. Tomasz BŁASZCZYŃSKI, *tomasz.blaszczynski@ikb.poznan.pl*
Mgr inż. Piotr W. SIELICKI, *piotr.sielicki@ikb.poznan.pl*
Politechnika Poznańska – Instytut Konstrukcji Budowlanych

ANALIZA WPLYWU BŁĘDÓW PROJEKTOWYCH I WYKONAWCZYCH NA AWARIĘ KAMIENICY Z LAT 30-TYCH XX w.

THE ANALYSIS OF DESIGN AND EXECUTIVE ERRORS INFLUENCE ON THE FAILURE OF THE APARTMENT HOUSE FROM 1930s

Streszczenie Praca dotyczy oceny wpływu, wykonanych prac modernizacyjnych w pięciokondygnacyjnej kamienicy murowanej, wzniesionej na początku XX wieku. Stwierdzono, że przeprowadzona modernizacja miała istotny wpływ na uszkodzenie budynku. Nakładanie się dodatkowych czynników zewnętrznych, takich jak prace ziemne w pobliżu jednej ze ścian dodatkowo osłabiło ściany kamienicy. W artykule omówiono wykonane dotychczas prace remontowe oraz podjęto próbę wyznaczenia stanu naprężenia w murowej konstrukcji nośnej przed i po modernizacji. Do obliczeń wykorzystano metodę elementów skończonych. Analiza wyników umożliwiła szybką lokalizację miejsc szczególnie uszkodzonych w konstrukcji.

Abstract The paper refers to assess of the modernization works influence on the five story brick apartment house, raised at the beginning XX century. It was discover, that executed modernization works had an essential influence on the building damages. Interfering of the external factors, like earthworks near the gable wall, additionally weakened analysed building walls. The executed modernization works were presented with the trial of stress state in the masonry structure before and after modernization. Finite element method was used for calculation. The result analysis made possible the quick location of places especially damaged in the masonry structure.

1. Wprowadzenie

Analiza zagrożonego zniszczeniem obiektu, wymusza na projektancie, w stosunkowo krótkim czasie, podjęcie decyzji o jego dalszej użyteczności. Często możliwości obliczeń analitycznych są znacznie ograniczone, o ile określenie aktualnego stanu naprężenia wraz z propozycją wzmocnienia najbardziej wyężonych elementów konstrukcji, nie jest tak czasochłonne, to określenie przyczyn uszkodzenia dla całego wielkogabarytowego obiektu wraz podjęciem odpowiednich działań zatrzymujących proces dalszego niszczenia, wymaga często wielu miesięcy pracy. Śledząc kierunki rozwoju analiz projektowych i ocen konserwatorskich w innych krajach, a także rozwój stosowanych metod obliczeniowych [1], dostrzec można coraz częstsze wykorzystywanie nowych technik numerycznych a analizie konstrukcji np. metody elementów skończonych. W przypadku analiz wybranych elementów konstrukcyjnych oraz całych budowli, przykładowo kościołów, czy kamienic [1, 2], wnioski z nich płynące są kluczowe dla dalszych prac, zarówno przy ocenie stanu uszkodzeń jak i

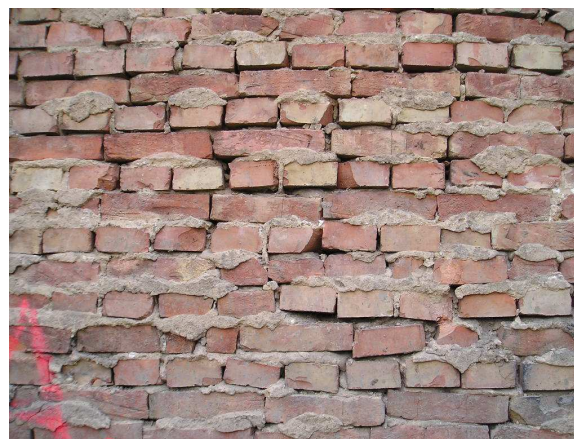
propozycji kolejnych prac naprawczych. Wiele analiz [3] opartych na obliczeniach numerycznych staje się coraz bardziej ustandaryzowanych. Warto podkreślić, że tego typu prace, które są wykonywane przez polskich inżynierów, są już na ogólnoeuropejskim poziomie [4, 5]. Bazując na prostych analizach wytrzymałościowych, od pojedynczej cegły przez filary, stropy, przypory czy też fragmenty sklepień do zaawansowanych, kompleksowych analiz (również dynamicznych) np. Bazylika św. Franciszka w Asyżu czy też Katedra na Palmie [2], zgromadzono pewien bagaż doświadczeń, który jest uwzględniany i wykorzystywany w kolejnych projektach. Dotychczas, stopień rozbudowania zadania MES w przypadku złożonej analizy wielkogabarytowych obiektów budowlanych, oprócz oczywistych możliwości przysparzał wiele problemów. Do głównych, należy zaliczyć znaczną liczbę elementów skończonych, a co za tym idzie również dużą liczbę stopni swobody w zadaniu, która często przekracza liczbę jednego miliona. W chwili obecnej dostęp do maszyn obliczeniowych, przykładowo takich jak w Poznańskim Centrum Superkomputerowo Sieciowym, rozwiązuje ten problem, tym samym ułatwiając tok obliczeń numerycznych. Poniższe analizy przeprowadzono w zaawansowanym środowisku programu Abaqus v.6.6 [6].

2. Aktualna ocena stanu budynku

Analizowany budynek wzniesiony został prawdopodobnie na przełomie w latach 30-tych okresu międzywojennego w konstrukcji tradycyjnej jako budynek podpiwniczony, czterokondygnacyjny z poddaszem (Rys. 1). Praktycznie nie zachowały się żadne elementy dokumentacji technicznej na podstawie, której został zrealizowany. Nad poziomem piwnic wykonano sztywny strop stalowo-ceramiczny typu Kleina, który był wraz z podłużną ścianą usztywniającą jedynym elementem spinającym budynek. W obiekcie nie stwierdzono wykonania skotwienia zastosowanych stropów drewnianych.



Rys. 1. Widok analizowanego budynku



Rys. 2. Widok jakości wykonania ściany szczytowej

Ściany budynku były wykonane z cegły ceramicznej pełnej klasy ok. 10 MPa na zaprawie cementowo-wapiennej marki $> 3,5$ MPa. Wszystkie ściany zarówno od zewnątrz jak i od wewnątrz otynkowano tynkiem cementowo-wapiennym grubości 2-3 cm. Jakość wykonanych ścian przedstawia rys. 2.

Brak prawidłowej opieki właściciela i użytkownika budynku doprowadził do jego wstępnego zarysowania w części południowej (Rys. 3).



Rys. 3. Stan techniczny elewacji do roku 2005

Analizowany budynek, w części przyziemia, jest przeznaczony na lokale użytkowe (aptekę i sklep), a od I p. jest obiektem mieszkalnym. W części południowej, na II p., znajdują się biura właściciela i administratora obiektu. Z poziomu piwnic pozostała jedynie część piwniczna od strony północnej, która aktualnie przeznaczona jest na zaplecze techniczno-laboratoryjne istniejącej nad nią apteki. Od strony południowej, w poziomie parteru, w miesiącach lutym i marcu 2006 r., przeprowadzono adaptację wraz z modernizacją konstrukcyjną, lokalu mieszkalnego na sklep. Realizację głównych prac wyburzeniowo-konstrukcyjnych w pomieszczeniach sklepu zakończono w marcu 2006r. W trakcie tych prac nastąpiło całkowite wyburzenie stropu nad piwnicą, wraz z zasypaniem pomieszczeń piwnicznych i wykonanie na tym podłogi, bez odtworzenia usztywnienia konstrukcyjnego. Dodatkowo prace konstrukcyjne realizowane w strefie sklepu polegały na brutalnym wyburzeniu prawie całej, głównej, usztywniającej, ściany podłużnej budynku, z pozostawieniem jedynie małych filarków i ułożeniem dwóch niezależnych kształtowników stalowych, które w założeniu miały przenieść całość obciążenia ze ścian wyżej leżących. W efekcie tych prac nastąpiły silne zarysowania w usztywniającej ścianie podłużnej i szczytowej ścianie południowej (Rys. 4).



Rys. 4. Zarysowania na podłużnej ścianie nośno-usztywniającej na I p. z zablokowaniem drzwi, powstałe w trakcie prac w strefie sklepu na parterze

W trakcie prac modernizacyjnych w 2000 r., w strefie apteki (w parterze od strony północnej), również wyburzono prawie połowę stropu masywnego nad piwnicą, nie zastępując go innym układem zastępczym. W projekcie budowlanym prac modernizacyjnych projektant przewidział układ zastępczy nad piwnicą, niestety właściciel go nie wykonał.

Od dnia 10.05.06 r. rozpoczęto na sąsiedniej działce nową inwestycję, której pierwszymi pracami były prace palowe (pale Contractor), w bezpośrednim sąsiedztwie północnej ściany

szczytowej analizowanego budynku. Po mimo zalecenia projektanta nie przystąpiono do monitoringu ściany szczytowej analizowanego budynku. W trakcie realizacji tych prac zauważono rysy na części północnej analizowanego obiektu. Na całej wysokości elewacji podłużnych (od strony frontonowej i tylnej) na odcinku od ściany szczytowej północnej do ściany klatki schodowej wystąpiły zarysowania i przemieszczenia pionowe. Dopiero w dniu 14.05.06 przystąpiono do monitoringu budynku istniejącego. W dniu 18.05.06 zatrzymano prace palowe i zauważono, że rozwarłość rys w momencie wstrzymania prac sięgała już 6mm w strefie piwnicy i ok. 8 mm na poziomie III p. i nadal się pogłębiała (Rys. 5).



Rys. 5. Stan techniczny elewacji po wykonaniu prac modernizacyjnych w strefie sklepu *Żabka* i prac palowych na terenie WCO

Na podstawie pomiarów geodezyjnych stwierdzono osiadanie ściany szczytowej północnej wynoszące ok. 1 mm tygodniowo. Całkowita wartość osiadania przekroczyła w skrajnym przypadku 21 mm (Rys. 6-8). Po zgłoszeniu zaistniałego faktu zarysowań do Powiatowego Inspektoratu Nadzoru Budowlanego, prace te zostały wstrzymane.

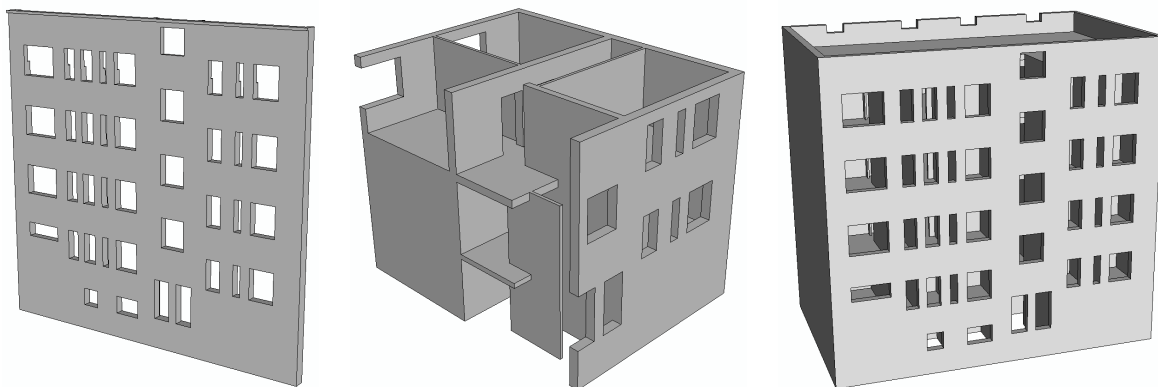


Rys. 6-8. Przykładowe zarysowania od podwórza w części północnej

3. Analiza numeryczna

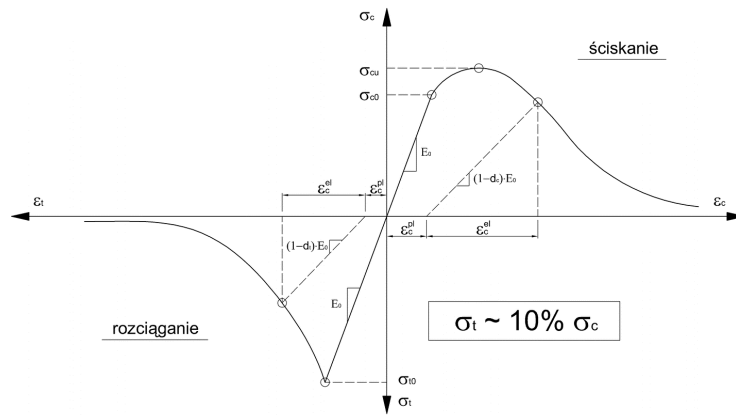
Pracę rozpoczęto od określenia celu oraz planu dalszej analizy i ewentualnej oceny skuteczności proponowanych wzmocnień. Autorzy chcieli wyznaczyć miejsca koncentracji naprężeń wraz z ich wzajemnymi relacjami w poszczególnych punktach konstrukcji. Porównanie analizy numerycznej wraz z rzeczywistą mapą zarysowania obiektu umożliwiłoby określenie kluczowych stref wymagających naprawy. Należy zaznaczyć, że budowę przestrzennego modelu bryłowego ułatwiła skrupulatnie sporządzona inwentaryzacja

budynku. Rzuty każdego z pięter kamienicy, wraz z jej elewacjami wykonano w formacie CAD, by następnie wykorzystać je w zaawansowanym środowisku CAE. Pracę podzielono na trzy etapy, w pierwszym kroku analizie poddano wyłącznie ścianę najbardziej zarysowaną, zadanie modelowano jako dwuwymiarowe, kolejno zbudowano przestrzenny fragment części kamienicy, z której wykuto strop. W trzecim ostatnim etapie modelowano całą kamienicę z uwzględnieniem wszystkich ścian nośnych oraz otworów drzwiowych i okiennych. Następnie w każdym z wariantów obliczeniowych, dodatkowo uwzględniono poszczególne kroki, które miały na celu ocenę zmian stanu naprężenia w wyniku wyżej opisanych prac, przykładowo usunięcia fragmentu stropu parteru. W jednym z etapów wprowadzono osiadanie ściany szczytowej, przy której są prowadzone prace ziemne. Przemieszczenie fundamentu modelowano jako wymuszenie kinematyczne. Pomiar zmiany składowych naprężenia (szczególnie składowej pionowej) oraz rozwoju zarysowania ścian elewacyjnych, a także ścian wewnętrznych, nośnych, porównano z udokumentowanym stanem obecnym. Poszczególne etapy przejścia od prostego do złożonego modelu geometrycznego pokazano na Rys. 9-11. Rysunek 9 przedstawia najbardziej wyężoną ścianę, od strony podwórza, w której również uwzględniono brak jednego ze stropów (przez zwolnienie podpory w kierunku normalnym do powierzchni ściany). Uwzględniono także osiadanie lewej części modelu nieliniowo interpolując osiadanie w kolejnych fragmentach fundamentu.



Rys. 9-11. Modele obliczeniowe kolejno poddane analizie

W pierwszych wariantach zadań wykorzystano liniowo-sprężysty model materiału dla zhomogenizowanego ośrodka murowego. Parametry materiałowe ustalono na podstawie metody omówionej w [4], wg której analiza niewielkiego fragmentu muru, przy wykorzystaniu metody elementów skończonych, uwzględnia niejednorodność muru. W skali makro mur można w przybliżeniu traktować jako materiał jednorodny, którego właściwości są uśrednieniem właściwości sprężystych elementów murowych i zaprawy [7]. Wyniki umożliwiły oszacowanie stref najbardziej zagrożonych oraz wpływu wykonanych prac modernizacyjnych. W dalszym toku obliczeń zaadoptowano nieliniowy materiał zaimplementowany już w środowisku Abaqus. Ten nieliniowy materiał nie jest wrażliwy na rodzaj konstrukcji, umożliwia obliczenia wytrzymałościowe, dla materiałów quasi-kruchych zarówno dla modeli belek, brył, płyt, jak i powłok. W zaprogramowanym zadaniu dopuszcza się śledzenie rozwoju tzw. skalarne parametru zniszczenia d , którego znaczenie wyjaśniono na poniższym rysunku (Rys.12).

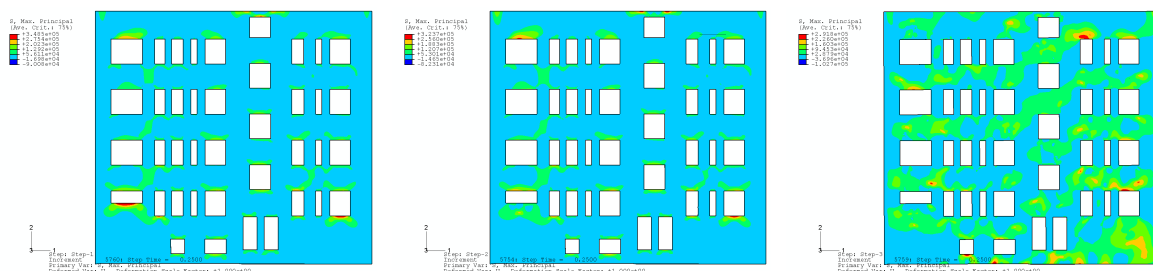


Rys. 12. Nieliniowy związek konstytutywny

Należy zwrócić uwagę, że oś naprężeniowa (pionowa) nie jest jednakowo skalowana w rozciąganiu i ścisnaniu. Proporcje naprężeń są jak 1 do 10 [8, 9]. Parametr zniszczenia określa wykorzystanie materiału dla każdego ze stanów (indeksy t w rozciąganiu i c w ścisnaniu). Dla potrzeb zadania przyjęto normowe obciążenia stropów i klatki schodowej. Wyznaczono również przybliżony ciężar więźby dachowej, a przy obciążeniu śniegiem, przyjęto najniekorzystniejszy wariant obciążenie dla ostatniej kondygnacji. Uwzględniono ciężar własny konstrukcji. Autorzy zdecydowali się pominąć wpływ parcia wiatru na ściany zewnętrzne budynku. Wprowadzenie wstępnych imperfekcji od tego obciążenia, mogło spowodować błędne oszacowanie zmian stanu naprężeń w wyniku przeprowadzonych modernizacji.

4. Wyniki

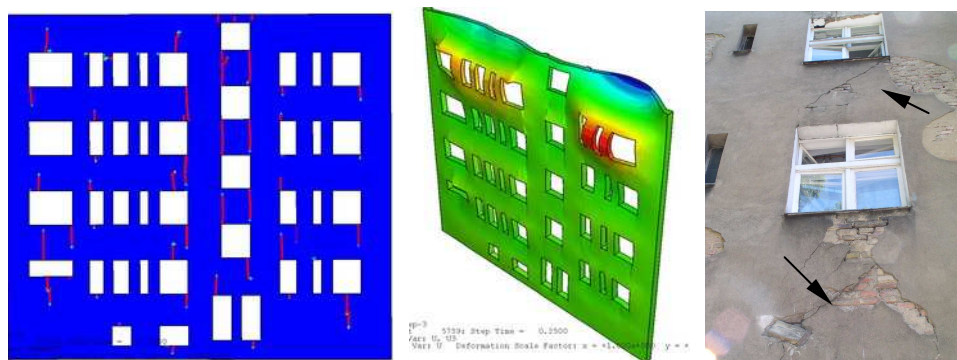
W takiej analiz, poddano rozważaniom kilka wariantów zadania. Jak wcześniej wspomniano, zlokalizowano strefy koncentracji naprężeń w ścianie elewacyjnej. Oszacowano miejsce propagacji rys, w głównych elementach nośnych konstrukcji. Poniżej (Rys.13) pokazano rozwój naprężeń głównych, prowadzących do późniejszych zarysowań ściany elewacyjnej od strony podwórza. Uwzględniono aktualny brak części stropu w poziomie parteru oraz osiadanie północnej ściany szczytowej.



Rys. 13. Naprężenia w ścianie szczytowej (widok od podwórza)

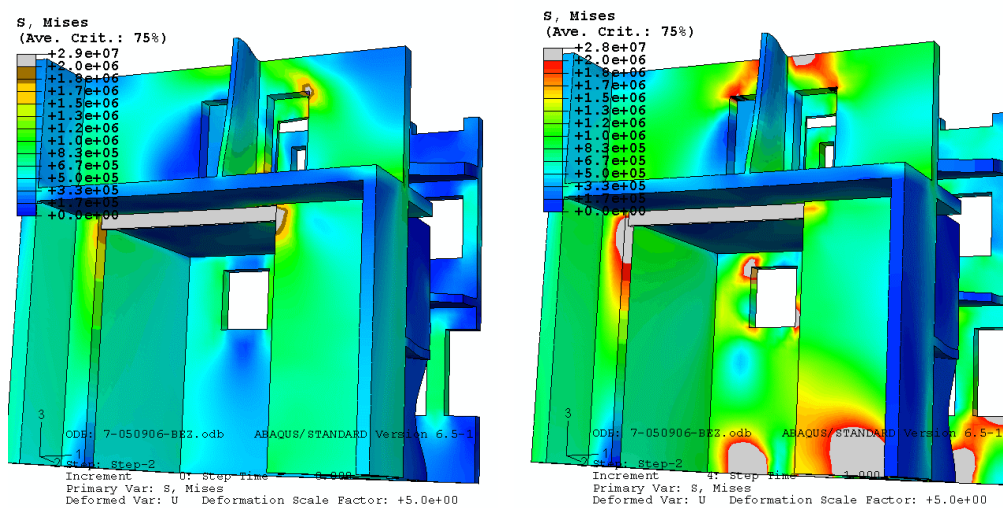
Przedstawiony na rysunku rozwój naprężeń głównych odnosi się do kolejnych wariantów. Pierwszy rysunek (patrząc od strony lewej) to prawdopodobny rozkład naprężenia z przed rozpoczęcia prac modernizacyjnych (likwidacji stropów). Strefy rozciągane w tej murew konstrukcji są widoczne wyłącznie przy nadprożach okiennych i drzwiowych. Kolejna mapa przedstawia ten sam rozkład, jednak budynek został już pozbawiony części stropów nad

piwnicą. Zauważono nieznaczny wzrost stref rozciąganych. Dla omawianej ściany budynku, kluczowe okazało się osiadanie północnej części fundamentów. Stwierdzono znaczny przyrost naprężenia rozciągającego oraz próbę ścięcia nadproży (Rys. 14).



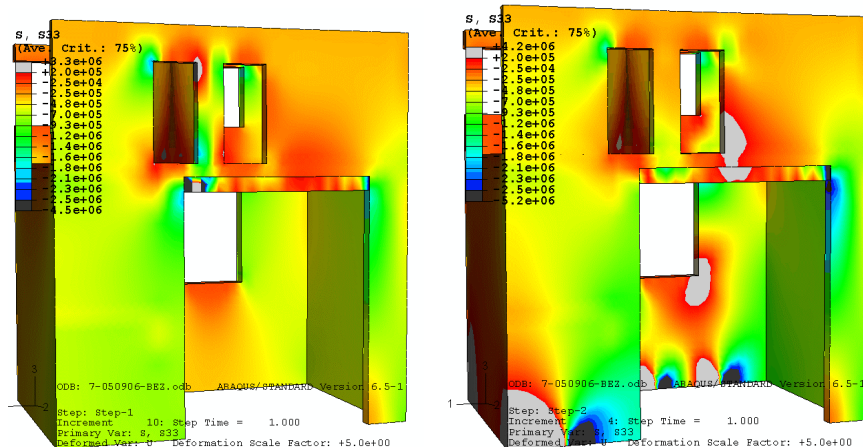
Rys. 14. Parametr zniszczenia konstrukcji w stanie rozciągania (wg Rys. 12) oraz przemieszczenie

Środkowa mapa przedstawia przeskalowane (w celu poglądowym) przemieszczenia normalne do powierzchni ściany. Powyższe obliczenia pozwalały na obserwację wyłącznie efektów zachowania się konstrukcji w jednej (najbardziej zagrożonej) ścianie. Wartości graniczne przemieszczeń sięgają 5mm na wysokości czwartego piętra, ma to kluczowy wpływ również na stateczność całej ściany jak i filarów międzyokiennych. W celu analizy zachowania całego obiektu, a szczególnie wewnętrznych ścian nośnych, przeprowadzono kolejne analizy, tym razem całej bryły budynku. Uwzględniono nowo wbudowany podciąg stalowy oparty na utworzonych z wyburzonej ściany filarach murowanych, spełniający rolę podpory dla górnych kondygnacji (Rys. 15).



Rys. 15. Naprężenia zredukowane (wg Mises'a) w zasadniczej części nośnej budynku

Rysunek lewy przedstawia rozkład naprężenia przed rozpoczęciem prac ziemnych w bezpośrednim sąsiedztwie, natomiast prawy po uwzględnieniu osiadania w ich wyniku. Zauważamy znaczny przyrost strefy, w której naprężenia zredukowane przekracza już 2.0 MPa, szczególnie w strefie nadproży oraz w części kondygnacji piwnicznej. Również filarki, na których oparto wspomniany podciąg, są granicznie wykorzystane. Ścisające naprężenia pionowe osiągają wartość 2.5 MPa (Rys. 16).



Rys. 16. Naprężenia pionowe; rysunek lewy – przed osiadaniem, prawy – po osiadaniu

5. Podsumowanie

Przeprowadzone analizy w zaawansowanym środowisku programu Abaqus umożliwiły szczegółową ocenę prawie rzeczywistego zachowania się kamienicy z lat 30-tych XX w. Opierając się na rzeczywistych danych materiałowych oraz uwzględniając kolejne warianty zadania (odzwierciedlające kolejne etapy modernizacji obiektu), a także inne wpływy środowiskowe, można było ocenić wpływ poszczególnych czynników na stan istniejący. Analizy te wykazały, że największy wpływ na zaistniałą awarię obiektu, miały kolejne prace modernizacyjne, a wykonane w pobliżu prace palowe były jedynie zapalnikiem uruchamiającym nagromadzoną wcześniej w budynku energię zniszczenia.

Literatura

1. Lourenco P.B.: Computational strategies for masonry structures, Dissertation, Delft University Press 1996
2. Jasieńko J.: Problemy remontowe w budownictwie ogólnym i obiektach zabytkowych, Kliczków 2006
3. Pande G. N.: Computer Methods in Structural Masonry – 4, E&FN Spon., Italy 1997
4. Jasieńko J., Łodygowski T., Rapp P.: Naprawa i wzmacnianie wybranych, zabytkowych konstrukcji ceglanych, DWE, Wrocław 2006
5. Lourenco P.B.: Possibilities of Numerical and Experimental Techniques, vol. 3, V International Conference on Structural Analysis of Historical Constructions, India 2006
6. ABAQUS User's Manual, v6.6, 2006
7. Page A. W.: An Experimental Investigation of the Biaxial Strength of Trick Masonry, Proceedings of 6th International Brick Masonry Conference, Rome 1982, 3-15
8. Hendry A. W.: Structural masonry, MacMillan Education Ltd., London 1990
9. Lopez J., Oller S., Onate E., Lubliner J.: A Homogeneous Constitutive Model for Masonry, Int. J. Numer. Meth. Eng., 46/1999