

Analiza obliczeniowa konstrukcji podporowej zabytkowej ściany przebudowywanego budynku

Dr inż. Wiesław Baran, Wydział Budownictwa Politechniki Opolskiej,
mgr inż. Mirosław Łotarewicz, Biuro projektowe PROJEKT2000, Opole

1. Wprowadzenie

Praca dotyczy analizy statyczno-wytrzymałościowej konstrukcji podporowej zabytkowej ściany, która na etapie projektu i budowy została zaadaptowana jako część docelowej konstrukcji przebudowywanego budynku. Analizę obliczeniową wykonano w systemie Robot Millennium, wykorzystując prętowe i powłokowe elementy skończone.

Ochrona obiektów zabytkowych jest ważnym elementem utrwalającym tożsamość narodową. Przesłanie to zostało wpisane do głównych założeń warunków konkursu architektonicznego na koncepcję rozbudowy z przebudową zabytkowego budynku przy ulicy Minorytów w Opolu na bibliotekę publiczną. Jest to strefa ścisłego centrum miasta z zabytkową

sta. Wykonane badania archeologiczne potwierdziły obecność obiektu od XVIII wieku, który pełnił funkcję więzienia miejskiego. Później budynek był wielokrotnie przebudowywany i dopiero pod koniec XIX wieku, przy nadbudowie kolejnych dwóch kondygnacji, stał się kamienicą czynszową z obecną fasadą, ozdobioną bogatym detalem architektonicznym. Przy tych założeniach miał powstać obiekt ze zmienioną funkcją, w nowej strukturze utworzonej wewnątrz budynku (rys. 2). Została zaplanowana całkowita przebudowa wnętrza budynku o konstrukcji tradycyjnej, wraz z wymianą całego układu nośnego ścian i stropów. Przebudowa z restauracją starej tkanki miała na celu poszanowanie autentycznej substancji – zachowanie ściany frontowej i ze względów technologicznych – fragmentów ścian bocznych. Podstawą prac konser-



Rys. 1. Zabytkowa fasada kamienicy



Rys. 2. Fasada nowej biblioteki po rozbudowie

tkanką miejską. Jednym z warunków konkursowych było zachowanie ściany frontowej przebudowywanego budynku z bogatym wystrojem architektonicznym o charakterze zabytkowym (rys. 1). Elewacja ta od lat utrzymała się w wizerunku śródmieścia mia-

watowskich było udokumentowanie i zbadanie zabytku oraz jego wartościowanie, jako główna zasada konserwatorska [1, 3].

W trakcie koncepcyjnych prac projektowych powstał problem techniczny dotyczący sposobu wymiany



Rys. 3. Konstrukcja podporowa ściany



Rys. 4. Węzeł szkieletu podporowego ściany

wewnętrznej konstrukcji nośnej budynku z równoczesnym utrzymaniem zabytkowej ściany frontowej i fragmentów ścian bocznych oraz zapewnienia ich stateczności na etapie realizacji inwestycji. Rozważano

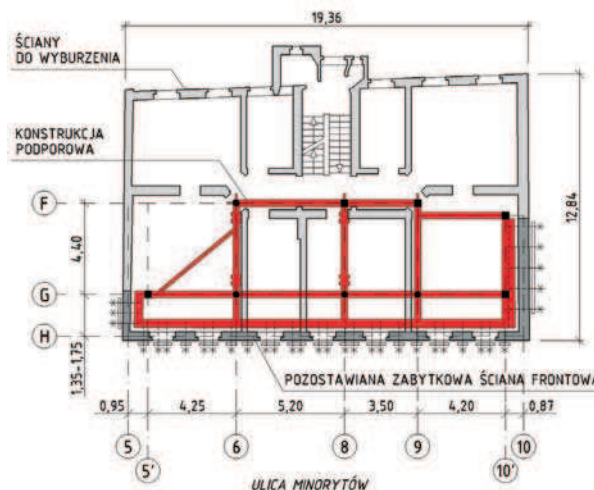
dwa warianty podparcia bocznej ściany frontowej:

- podparcie od zewnątrz nową konstrukcją podporową typu zastrzałowego, wykonaną tymczasowo i stabilizującą istniejącą ścianę na czas prowadzonych robót budowlanych, a następnie wzniesienie nowej konstrukcji nośnej w miejscu starego budynku, do której nastąpiłoby docelowe kotwienie zabytkowej ściany,
- podparcie od strony wewnętrznej przestrzenną, szkieletową konstrukcją podporową, z równoczesnym kotwieniem ściany, która po wykonaniu stanowiłaby również konstrukcję nośną budynku.

Po przedstawieniu analiz techniczno-ekonomicznych, wybrano do realizacji drugi wariant konstrukcji podporowej ściany (rys. 3), który zapewnił znaczne obniżenie kosztów budowy. Równocześnie wybrany sposób zabezpieczenia ściany wymagał od wykonawcy robót wysokiego poziomu techniczno-organizacyjnego na budowie (rys. 4).

2. Opis budynku i konstrukcji podporowej ściany

Przedmiotowa zabytkowa ściana, to wschodnia ściana frontowa istniejącego budynku wielorodzinnego w zabudowie wolnostojącej, IV-kondygnacyjnego, całkowicie podpiwniczzonego, wzniesionego w technologii tradycyjnej. Układ konstrukcji budynku o ścianach podłużnych (rys. 5), w środkowej części trójtraktowy, a w skrajnych skrzydłach dwutraktowy. Konstrukcja zabytkowej ściany frontowej murowana, z cegły pełnej na zaprawie wapiennej, o zmiennej grubości wynoszącej: 3 cegły w części piwnicy, 2½ cegły w części I kondygnacji (parter), 2 cegły w części II kondygnacji i 1½ cegły w części III i IV kondygnacji. Ścianę zabezpieczono przed utratą stateczności przestrzennym, wielokondygnacyjnym szkieletem o konstrukcji żelbetonowej (rys. 3, 4, 5), utworzonym z jednostraktywnych ram poprzecznych o rozstawie osiowym słupów 4.40 m, jednostron-



Rys. 5. Schemat konstrukcji podporowej ściany – rzut

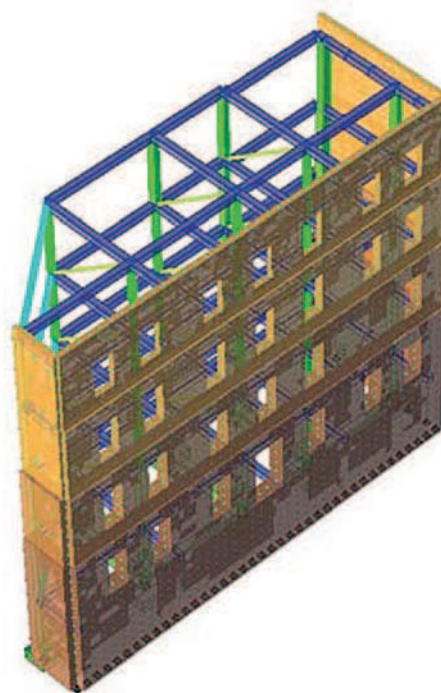
nie wspornikowo przewieszonych od strony istniejącej ściany. Długości wsporników od 1,35 do 1,75 m dopasowano do wewnętrznych odsadzek ściany. Bezpośrednio pod istniejącymi stropami budynku w poziomach: +0,14 m, +3,60 m, +7,06 m, +10,52 m, ramy poprzeczne zostały powiązane ryglami podłużnymi w osiach F, G, H (rys. 5), tworząc układ dwutraktowy. Ze względu na brak możliwości utworzenia takiego poprzecznego układu podporowego ściany w osi „5” przyjęto, że podparcie boczne tej krawędzi przejmuje układ poprzeczny w osi „6” za pośrednictwem poziomych zastrzałów doprowadzonych do słupa w osi „5”.

3. Analizowana konstrukcja i jej model obliczeniowy

Konstrukcja ściany podparta przestrzennym szkieletem prętowym tworzy układ powiązanych wzajemnie dwóch typów konstrukcji, które w modelu obliczeniowym przyjęto jako płaską powłokę ściany, składającą się z elementów powłokowych i przestrzenny układ prętowy ram wielokondygnacyjnych. Ze względu na strukturę analizowanej konstrukcji, jako główną zasadę przy tworzeniu modelu obliczeniowego [5], przyjęto jak najdokładniejsze przeniesienie do niego schematów obliczeniowych i statycznych występujących w rzeczywistym obiekcie (rys. 6, 7). Uwzględniono rzeczywiste wymiary i sztywności



Rys. 6. Widok na konstrukcję ściany



Rys. 7. Widok modelu obliczeniowego ściany

poszczególnych elementów i systemów konstrukcji istniejącej ściany oraz projektowanej, przestrzennej prętowej konstrukcji wsporczej.

Model ściany

Ze względu na geometrię zabytkowej konstrukcji ściany frontowej i fragmentów ścian bocznych, postawione na tym etapie budowy ze względów technologicznych, przyjęto do obliczeń przestrzenny model w postaci układu trzech powłok. Model obliczeniowy ścian przyjęto na podstawie wymiarów rzeczywistych z inwentaryzacji budowlanej budynku. Zdefiniowano zmienne po wysokości grubości elementów powłokowych, odpowiadające grubościom ścian na poszczególnych kondygnacjach. Przyjęto podparcie dolnej krawędzi liniowe, przegubowe (zwolnione na obrót) i nieodkształcalne.

Ściany zostały podzielone na panele obliczeniowe, zgodnie z liniami poziomymi zamocowań konstrukcji podporowej przyjętymi w projekcie i połączone przegubowo, zgodnie z założeniami obliczeniowymi modelu przegubowego ścian, zawartymi w PN-B-03002 [N3, 2]. Ze względu na brak „możliwości” starych murów do przejmowania momentów zginających o dużych wartościach, przyjęto połączenia krawędzi pionowych ścian jako przegubowe, liniowe zwolnienie krawędziowe naroży na obrót.

Zamocowanie ściany do konstrukcji podporowej zaprojektowano i wykonano za pośrednictwem żelbetonowych wsporników i osadzonych w nich układu kotew w belkach w osi „H” (rys. 5), przeprowadzonych przez ściany i blokowanych płytkami oporo-

wymi na zewnętrznym licu ścian. Rozstaw kotew dopasowano do położenia zachowywanego detalu architektonicznego na elewacji frontowej. W modelu obliczeniowym przyjęto układ kotew jako elementy prętowe, jednostronnie utwierdzone w konstrukcji, z końcami przegubowo zamocowanymi w węzłach usytuowanych w płaszczyznach elementów powłokowych ścian (rys. 8). Dyskretyzację powłok ścian przeprowadzono metodą Coons'a [5], wprowadzając typologiczny podział powierzchni paneli na 2157 powierzchniowych elementów skończonych, o konturach czworokątnych i trójkątnych.

Model szkieletu

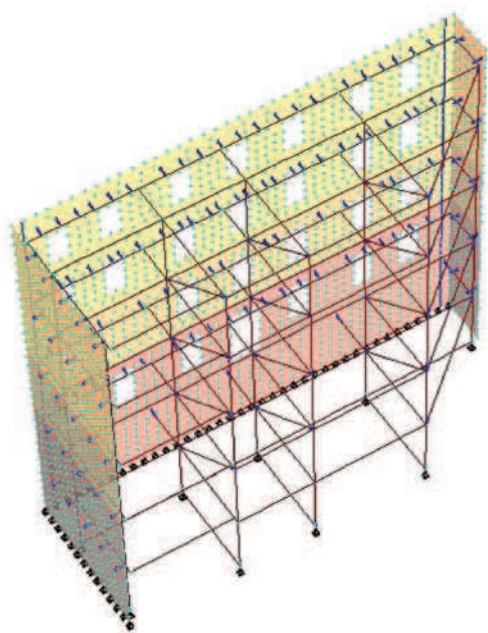
Szkielet konstrukcji podporowej ściany zaprojektowano i wykonano jako żelbetową konstrukcję monolityczną, którą w modelu obliczeniowym przyjęto jako przestrzenny układ prętowy, o geometrii i sztywności elementów odwzorowujących rzeczywiste parametry konstrukcji. Ramy przestrzenne modelu zostały utworzone z 442 prętów pionowych i poziomych, połączonych ze sobą węzłami sztywnymi (rys. 4, 8). W poziomie posadowienia konstrukcji, ze względu na występowanie w podłożu sztywnego podłoża skalistego, zdefiniowano nieodkształcalne podpory przegubowe słupów, które powiązane zostały w osiach „6”, „8” i „9” oczepami poprzecznymi oraz w osi „G” oczepem podłużnym (rys. 5, 8). Brak podparcia krawędzi ściany w osi „5” pełnym ramowym układem poprzecznym i jej podparcie za pośrednictwem poziomych zastrzałów schodzących do pełnego układu poprzecznego w osi „6” (rys. 5), oraz pozostawienie fragmentu ściany bocz-

nej w osi „5”, spowodowało otrzymanie struktury o sztywności niesymetrycznej. Analizowana konstrukcja ściany została podparta układem o znacznym niedoborze sztywności poprzecznej, dlatego poprzeczne ramy podporowe wzmocniono tymczasowymi, pionowymi układami zastrzałowymi typu „X” umieszczanymi w każdym polu ramy (rys. 3). Ze względu na zastosowanie w rozwiązaniach konstrukcyjnych na budowie zastrzałów z elementów prętowych typu rozporowego (rys. 4), które mogą przenosić jedynie siły ściskające, rozdzielono model obliczeniowy konstrukcji podporowej na dwa układy, z elementami stężającymi dopasowanymi ustawieniem do wiodącego kierunku działania wiatru na ścianę frontową.

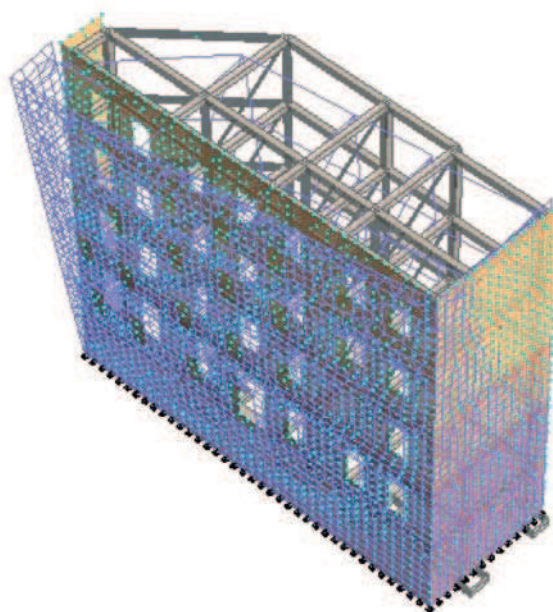
4. Analiza obliczeń

Zdefiniowany w systemie Robot Millennium [5] model konstrukcji poddano obciążeniom od ciężaru własnego [N1] i działania wiatru [N2] z czterech głównych kierunków. Dla kombinacji obciążeń w SGN i SGU, przeprowadzono obliczenia statyczne i projektowanie elementów żelbetowych konstrukcji szkieletu [5, N4].

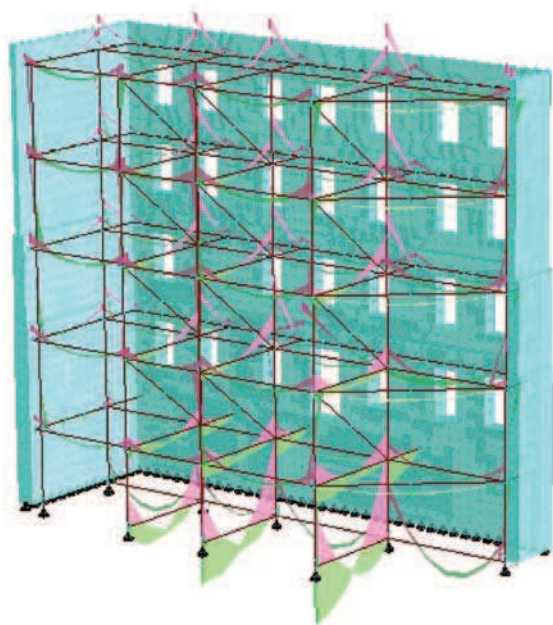
Na podstawie analizy wyników obliczeń stwierdzono, że działanie wiatru od strony wewnętrznej ściany jest bardziej niekorzystne i powoduje pracę ramy poprzecznej w osi „6” w przedziale ekstremalnych wartości reakcji podporowych (rys. 10). Wynika to z kierunku działania wiatru od strony konstrukcji podporowej, w której oś teoretycznego środka obrotu całego układu jest bliższa jego środkowi



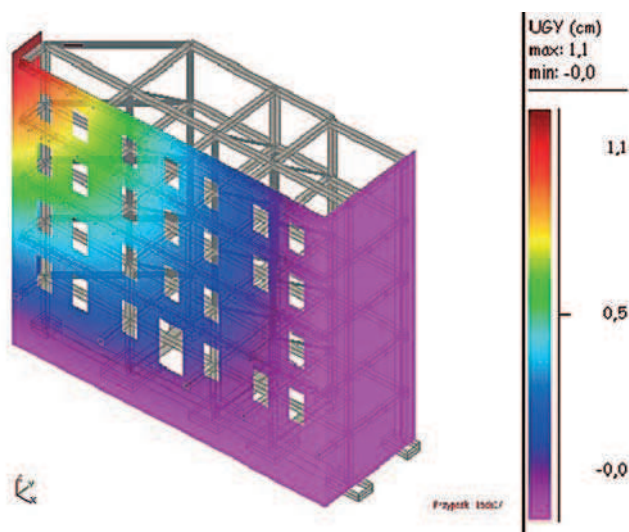
Rys. 8. Model konstrukcji podporowej ściany



Rys. 9. Odkształcenia konstrukcji od działania wiatru



Rys. 10. Wykresy momentów zginających MY



Rys. 11. Mapa przemieszczeń ściany w SGU na kierunku UY na prętach szkieletu od działania wiatru od strony zewnętrznej

ciężkości. Przy działaniu wiatru od strony zewnętrznej, kotwienie dolnych wsporników ram w ścianach piwnicznych jest skutecznie wykorzystywane jako przeciwwaga układu podporowego. Natomiast rama poprzeczna w osi „6”, przy działaniu wiatru od strony wewnętrznej ściany frontowej, ma znacznie mniejszy poziom bezpieczeństwa i stanowi zaledwie 16% nośności względem układu obciążeń działającego z drugiej strony. Dla zapewnienia quasi symetrii układu konstrukcji zabezpieczającej ścianę na obrót przy działaniu wiatru z dwóch różnych kierunków, wprowadzono do fundamentu rami na przecięciu osi „6-F” dodatkowe obciążenie zewnętrzne w postaci

ciężaru stosu z cegieł ułożonych na stopie fundamentowej (fot. 3).

W SGU dla górnej krawędzi ściany, otrzymano przemieszczenie poziome określone dla wiatru działającego od strony wewnętrznej i zewnętrznej ściany odpowiednio: $UY = -1,1$ cm i $UY = 0,9$ cm (rys. 9, 11).

Podsumowanie

Sposób wznoszenia konstrukcji podporowej wewnątrz istniejącego obiektu w ten sposób, aby przy wymianie całych wewnętrznych ustrojów konstrukcyjnych stanowiła ona część konstrukcji nośnej przebudowanego budynku, umożliwił w trakcie przebudowy wyeliminowanie kosztownej zewnętrznej konstrukcji podporowej.

Pozostawione fragmenty ścian, przy wyburzeniu całych konstrukcji obiektu, są układem pozbawionym naturalnych podpór w postaci stropów (poziomych tarcz), które usztywniają obiekt i przenoszą oddziaływania poziome. Zastosowany układ przestrzenny ram ze sztywnymi węzłami, ma ograniczoną sztywność poprzeczną, wynikającą z podatności węzłów oraz smukłości prętów. W takim przypadku, na etapie montażu należy wzmacniać sztywność prętowych układów poprzecznych np. poprzez montowanie tymczasowych zastrzałów pionowych lub wprowadzenie tymczasowych nieodkształcalnych tarcz w płaszczyźnie tych ram. Docelowym układem przenoszącym zewnętrzne oddziaływania poziome są układy tarczowe ścian budynku wraz z płytami stropowymi.

BIBLIOGRAFIA

- [1] Jasieńko J., Klimek A., Matkowski Z., Schabowicz K., Problemy Remontowe w Budownictwie Ogólnym i Obiektach Zabytkowych. DWE, Wrocław 2006 (książka, praca zbiorowa)
- [2] Lewicki B. z zespołem, Rozszerzone podstawy naukowych ustaleń Eurokodu 6 „Projektowanie konstrukcji murowych”, Komentarz naukowo-badawczy do PN-EN-1996-1-1:2008, PN-EN-1996-2:2008, PN-EN-1996-3:2008, t.1, t.2, Instytut Techniki Budowlanej, Warszawa 2008
- [3] Tajchman J., Cement, beton i żelbet w zabytkach architektury – wady i zalety. Wprowadzenie do problematyki konserwatorskiej, Materiały XXI Ogólnopolskiej Konferencji Warsztat Pracy Projektanta Konstrukcji, Szczyrk 2006 rok, PZITB O/Gliwice
- [4] Starosolski Wł., Komputerowe modelowanie betonowych ustrojów inżynierskich. Wybrane zagadnienia. Tom 1–2. Wydawnictwo Politechniki Śląskiej, Gliwice 2009
- [5] Robot Millennium. Podręcznik użytkownika. Firma Informatyczna RoboBAT, Kraków
- [N1] PN-82/B-02001, Obciążenia w obliczeniach statycznych. Obciążenia stałe
- [N2] PN-77/B-02011, Obciążenia w obliczeniach statycznych. Obciążenie wiatrem
- [N3] PN-B-03002, Konstrukcje murowe niezbrojone. Projektowanie i projektowanie
- [N4] PN-B-03264:2002, Konstrukcje betonowe, żelbetowe i sprężone. Obliczenia statyczne i projektowanie