XXIV awarie budowlane
XXIV Konferencja Naukowo-Techniczna
Szczecin-Międzyzdroje, 26-29 maja 2009

Dr hab. inż. TADEUSZ TATARA, prof. PK, *ttatara@usk.pk.edu.pl*
Instytut Mechaniki Budowli
Politechnika Krakowska

ANALIZA PRZYCZYN POWSTANIA USZKODZEŃ MUROWEGO BUDYNKU I KONCEPCJA JEGO WZMOCNIENIA

ANALYSIS OF FAILURES' ORIGIN IN MASONRY BUILDING AND CONCEPTION OF ITS STRENGHTENING

Streszczenie Praca dotyczy analizy uszkodzeń zabytkowego murowego budynku dworca kolejowego. Wykonano pomiary dynamiczne budynku. Analiza wyników dowiodła, że poziom wzbudzanych drgań przejazdami różnych typów pociągów nie jest szkodliwy dla konstrukcji budynku. Wykonane prace odkrywkowe, obserwacje zachowania się założonych plomb kontrolnych oraz analiza uszkodzeń pozwoliły na określenie ich przyczyn. Podano koncepcję i sposób zabezpieczenia budynku umożliwiający jego dalszą eksploatację.

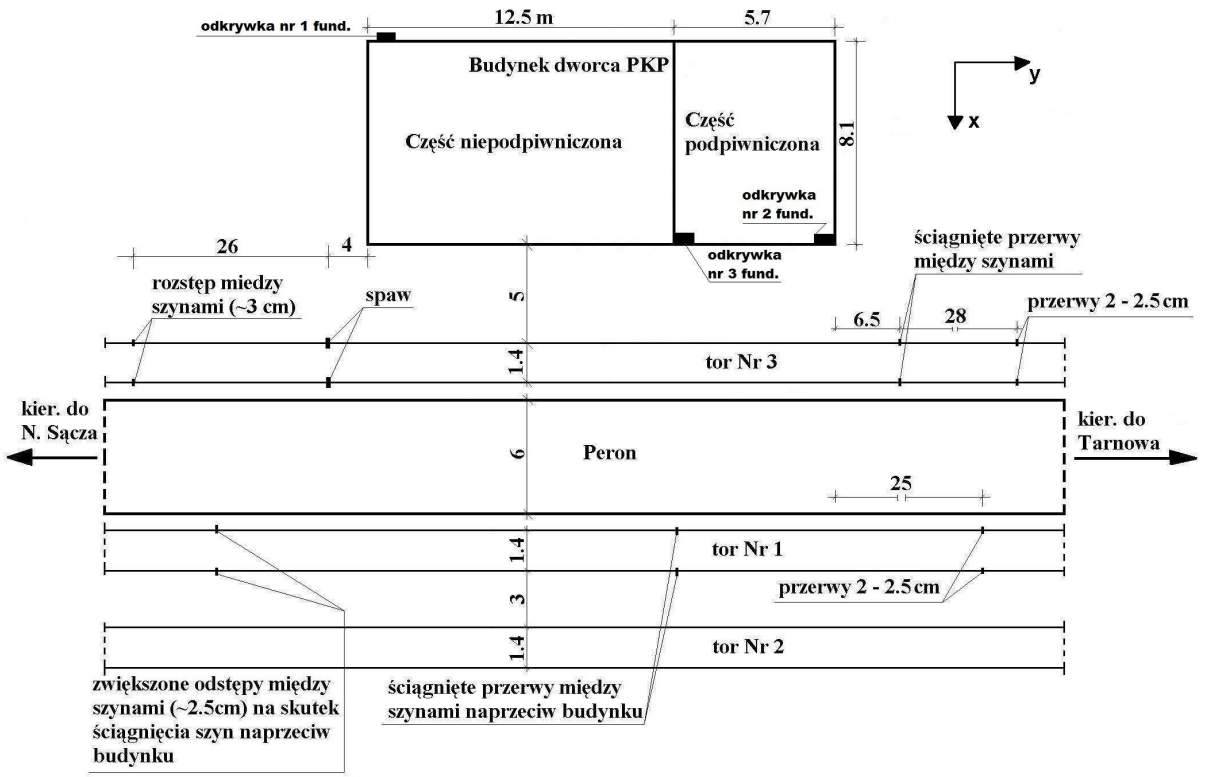
Abstract The paper presents analysis of damage in a historical railway station. Results of performed vibration testing of the building confirm that the level of induced vibrations by trains is not harmful to structure. Invasive inspections, monitoring of gypsum gages as well as analysis of the cracking permitted definition of the origin of the damage. Conceptual design and way of protecting of the building allowing the continuous use of the building are also presented.

1. Wprowadzenie

Budynek dworca kolejowego położony jest w jednej z miejscowości przy ruchliwej trasie Tarnów-Nowy Sącz (Krynica) – Tarnów. Przez stację przebiegają trzy użytkowane tory, po których dziennie przejeżdża kilkadziesiąt pociągów (składy osobowe i towarowe). Przejazdy składów towarowych odbywają się po wszystkich trzech torach; w większości są to przejazdy pełnych składów.

W budynku dworca wystąpiły liczne uszkodzenia elementów konstrukcyjnych. Wskutek decyzji Komisji PKP przeprowadzono remont torów, którego celem było uciąglenie szyn kolejowych (poprzez zespawanie ich styków) w sąsiedztwie budynku. Zespawanie styków szyn torów spowodowało wystąpienie zwiększonej przerwy między szynami na następnym styku (ok. 2.5 cm). Wykonane prace miały na celu ograniczenie wpływu drgań generowanych przejazdami pociągów na konstrukcję budynku. Położenie torów względem budynku oraz miejsca przeprowadzonych napraw pokazano schematycznie na rys. 1.

Celem pracy jest wskazanie przyczyn występujących uszkodzeń budynku. Przeprowadzone badania dynamiczne miały na celu dać odpowiedź, czy drgania wzbudzane przejazdami różnego typu pociągów i przekazywane poprzez podłoże gruntowe na budynek mogły być przyczyną jego uszkodzeń. W pracy przeprowadzono analizę stanu istniejącego i podano: a) przyczyny uszkodzeń, b) koncepcję napraw i wzmocnienia budynku oraz wnioski i zalecenia.



Rys. 1. Sytuacja

2. Opis konstrukcji i stanu technicznego budynku

Budynek dworcowy został wzniesiony przez jeńców włoskich z końcem XIX wieku, ok. 1880 r. Z powodu braku dokumentacji technicznej dokonano szczegółowej inwentaryzacji całego obiektu. Jest to budynek dwukondygnacyjny z użytkowym poddaszem (strych). W części parterowej budynek jest użytkowany przez PKP, a w części piętrowej znajdują się prywatne mieszkania. Rzut poziomy budynku jest prostokątem w wymiarach 18.20×8.1 m, a jego wysokość od poziomu terenu do kalenicy wynosi ok. 9.7 m. Budynek jest częściowo podpiwniczony – por. rys.1. Strop nad piwnicą wykonano jako kolebkowy, odcinkowy ceglany (o grubości w kluczu ok. 50 cm). Wysokość piwnic wynosi ok. 2 m. W części bez podpiwniczenia fundament budynku wykonany jest z foremnych bloków piaskowca, a w części podpiwniczonej z nieobrobionych bloków piaskowca na zaprawie wapiennej. Głębokość posadowienia jest zmienna; w części bez podpiwniczenia wynosi ok. 2.7 m, a w części podpiwniczonej ok. 3.4 m. Ściany nośne zewnętrzne (o grubości ok. 50 cm) oraz ściany wewnętrzne (o grubości 18 cm) wykonano z cegły pełnej o wymiarach 30×15×7 cm. Stropy nad parterem i Ip. są drewniane. W części podpiwniczonej budynek posiada drewnianą klatkę schodową. Cały budynek przekryty jest drewnianym dachem o konstrukcji krokwiowo – płatwiowej, pokrytym ceramiczną dachówką.

W odkrywce nr 1 (część bez podpiwniczenia) – por. rys. 1, woda występuje na głębokości ok. 2.5 m. Spód fundamentu budynku w części bez podpiwniczenia znajduje się ok. 20 cm pod wodą i został posadowiony na glinie miękkoplastycznej, co wykazały próbki gruntu wydobyte w tym miejscu spod fundamentu. Z kolei w odkrywkach nr 2 i 3 w piwnicy – por. rys. 1, stwierdzono obecność wody gruntowej ok. 90 cm od poziomu posadzki piwnicy. Fundament budynku w części podpiwniczonej posadowiony jest na piasku ilastym (na podstawie pobranych próbek gruntu wydobytych spod fundamentu). Poziom wody gruntowej jest powyższej spodu fundamentów. Stan taki występował pomimo wykonania odwodnienia budynku. Fundament spoczywa w nawodnionym gruncie. Na ścianach fundamentowych nie stwierdzono obecności

izolacji poziomej i pionowej budynku. Mury fundamentowe są zawilgocone z ubytkami zaprawy (wypłukania) oraz uszkodzone poprzez pęknięcia i zarysowania – por. rys. 2.

Budynek dworca jest stary, ma prawie 130 lat. Wykazuje naturalne zniszczenie niektórych elementów konstrukcyjnych. W budynku występują pęknięcia i zarysowania nośnych ścian zewnętrznych i wewnętrznych, ścian działowych oraz nadproży okiennych, a także ścian piwnic. Uszkodzenia ścian elewacyjnych (pęknięcia) znajdują się zarówno od wewnętrznej jak i zewnętrznej strony ścian w poziomie parteru oraz w części mieszkalnej budynku w poziomie Ip. Zarysowania i pęknięcia stropów, ścian i nadproży okiennych występują w pomieszczeniach magazynowych i w przedsionku prowadzącym do nich w poziomie parteru, w części bez podpiwniczenia. Większa ilość uszkodzeń występuje w części niepodpiwniczonej budynku od strony placu dworcowego (por. rys. 2). Na niektórych ze spękań zostały założone gipsowe marki kontrolne ze szkiełkami, celem obserwacji ewentualnego dalszego powiększania się pęknięć. W okresie ponad rocznej obserwacji marek gipsowych i szkiełek stwierdzono uszkodzenie niektórych marek i szkiełek. Wewnątrz budynku, w poziomie piwnicy występują zarysowania ściany piwnicy prostopadłej do kierunku torów. W poziomie Ip. widoczne są: a) w klatce schodowej pęknięcie ściany biegnące ukośnie od naroża drzwi w kierunku stropu nad Ip., b) w części niepodpiwniczonej spękania ściany podłużnej od strony placu dworcowego, c) zarysowania na połączeniu drewnianego stropu i ścian nośnych, d) spękania jednej z nośnych ścian wewnętrznych.

Rys. 2. Widok elewacji od strony placu dworcowego i jej uszkodzenia w części bez podpiwniczenia wraz z założonymi plombami w miejscach uszkodzeń oraz pękniecie muru fundamentowego (odkrywka nr 1)

3. Badania dynamiczne i analiza wyników pomiarów

3.1. Źródła drgań

Podczas przeprowadzonych badań źródłem drgań budynku były przejazdy różnych typów pociągów w obu kierunkach możliwego ruchu (w kierunku stacji Nowy Sącz lub Tarnów). Rejestrowano drgania wzbudzane przejazdami pociągów pasażerskich (osobowych, pospiesznych) i towarowych. Pociągi towarowe przejeżdżały przez stację bez zatrzymywania się (tzw. przejazd przelotowy – na biegu), a pociągi pasażerskie w zależności od typu zatrzymywały się (pociągi osobowe) lub przejeżdżały na biegu (pociągi pospieszne). Maksymalna masa składów towarowych nie przekracza 2000 t. Przelotowe przejazdy pociągów towarowych odbywają się ze średnią prędkością ok. 60 km/h; niektóre z pociągów zatrzymują się na stacji. Przejazdy pociągów pasażerskich (osobowe, pospieszne i ekspresowe) odbywają się w większości torem nr 1. Przy przejazdach przelotowych maksymalna prędkość może wynieść ok. 80 km/h (ekspres); w większości prędkość tych przejazdów wynosi ok. 60 km/h. Pociągi przejeżdżały dwoma torami: torem najbliższym w stosunku do budynku (tor Nr 3) i torem środkowym (tor nr 1) – por. rys. 1. Pomiary drgań przeprowadzono w losowo wybranym dniu i podczas badań zarejestrowano przejazdy różnych typów pociągów.

3.2. Aparatura pomiarowa

W badaniach tor pomiarowy składał się z aparatury firmy Brüel – Kjaer (akcelerometry, wzmacniacze ładunku, rejestratory magnetyczne) oraz oscyloskopów z pamięcią cyfrową firmy Tektronix, filtrów dolnoprzepustowych i komputera IBM PC. Zastosowana aparatura jest przystosowana do pomiarów drgań, jakie występują w przypadku drgań budynków wzbudzanych różnego typu pojazdów [1]. Dokładność pomiarów wynikająca z odchyłek nominalnych czujników, wzmacniacza oraz zniekształcenia sygnału przez rejestrator cyfrowy a także aparatury cyfrowej i użytych filtrów wynosi +/-15%.

3.3. Opis przeprowadzonych pomiarów

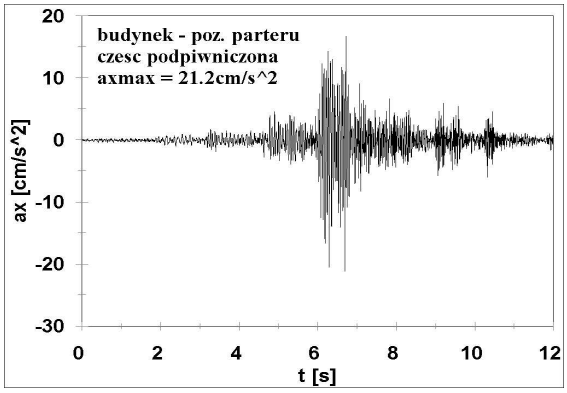
Podczas pomiarów mierzono: a) składowe poziome drgań w dwu wzajemnie prostopadłych kierunkach równoległych do osi poprzecznej (x) i podłużnej (y) budynku (por. rys. 1), b) drgania pionowe stropu parteru (strop o największej rozpiętości). Akcelerometry ustawiono w sposób umożliwiający rejestrowanie drgań w wybranych poziomach pomiarowych (posadzka piwnicy, posadzka parteru w części podpiwniczonej i bez podpiwniczenia, posadzka Ip.). Takie ustawienie czujników pomiarowych umożliwia określenie parametrów drgań w poziomie otaczającego terenu lub poniżej. Parametry te przyjmuje się do oceny szkodliwości drgań na budynki zgodnie z normą [2].

3.4. Analiza wyników pomiarów i ocena szkodliwości drgań na konstrukcję budynku

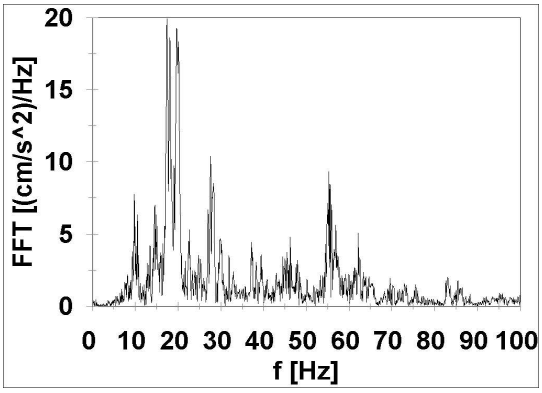
Drgania budynku wzbudzane przejazdami pociągów są nieregularne, charakteryzują się zmiennymi w czasie częstotliwościami i przyspieszeniami. Są to drgania nieokresowe, narastające w miarę zbliżania się pociągu do budynku i malejące w miarę oddalania się pociągu od budynku. Z porównania przebiegów zarejestrowanych drgań wynika, że składowe poziome (x) pomierzone w poziomie posadzki piwnicy są mniejsze niż zarejestrowane na parterze. Do dalszych analiz przyjmowane będą składowe poziome (x) zarejestrowane w poziomie parteru budynku. W pozio-

mie parteru, w części podpiwniczonej intensywność drgań jest nieco większa niż w część bez podpiwniczenia. W poziomie posadzki piwnicy i w poziomie parteru składowe (y) są mniejsze niż składowe x. Pionowe drgania stropu są najintensywniejsze. Drgania wzbudzane przejazdami pociągów osobowych zatrzymujących się i startujących ze stacji są mniejsze niż wywołane przejazdami pociągów towarowych, pospiesznych lub ekspresowych nie zatrzymujących się na stacji. Na rys. 3 pokazano przykładowo przebieg najintensywniejszych drgań (składowa x) zarejestrowanych w budynku w poziomie parteru (terenu) w części podpiwniczonej. Wyniki analiz częstotliwościowych zarejestrowanych przebiegów składowych drgań wskazują, że dominujące częstotliwości drgań pozostają w pasmach 10, 17 – 20, 27 – 28.5 i 55 – 57 Hz (por. rys. 4).

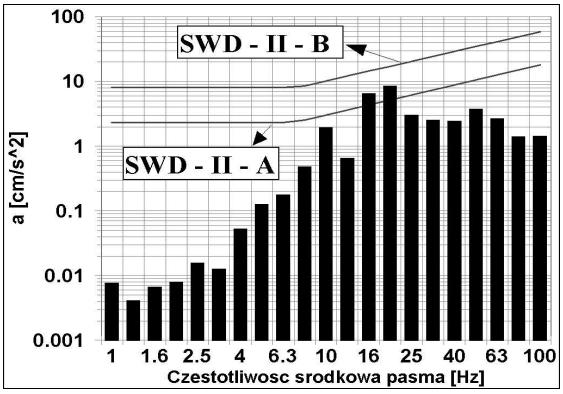
Do oceny szkodliwości drgań przyjmuje się parametry poziomych drgań pomierzonych w budynku na wysokości otaczającego terenu lub poniżej na ścianie w poziomie posadzki piwnicy lub fundamentów zgodnie z wymogiem normy [2]. Wymiary, materiał oraz konstrukcja omawianego budynku kwalifikują go do oceny szkodliwości drgań na podstawie skali SWD – II. W ocenach szkodliwości, dla przedmiotowego budynku, przyjęto niższy dopuszczalny poziom drgań z uwagi na wiek i stan techniczny obiektu. Na rys. 5 pokazano wyniki analizy tercjowej przebiegu drgań z rys. 3. Maksymalne przyspieszenia drgań w paśmie 16 i 20 Hz przekraczają krzywą SWD – II – A i znajdują się w II strefie skali SWD – II. Jeśli parametry drgań znajdują się w II strefie tej skali, to drgania takie traktowane są jako odczuwalne przez budynek, ale nieszkodliwe dla jego konstrukcji. W wyniku ich działania następuje przyspieszone zużycie budynku i pierwsze rysy w wyprawach malarskich i tynkach. Oznacza to, że w budynku nie powstają wówczas rysy i spękania ścian nośnych. Nie można wykluczyć, że intensywność drgań budynku była większa, gdy odległości między szynami w miejscach styków były większe. Można przypuszczać, że wówczas parametry drgań również nie powinny przekraczać II strefy skali SWD-II.



Rys. 3. Zarejestrowany przebieg składowej poziomej drgań w budynku



Rys. 4. Wynik analizy częstotliwościowej przebiegu drgań z rys. 3



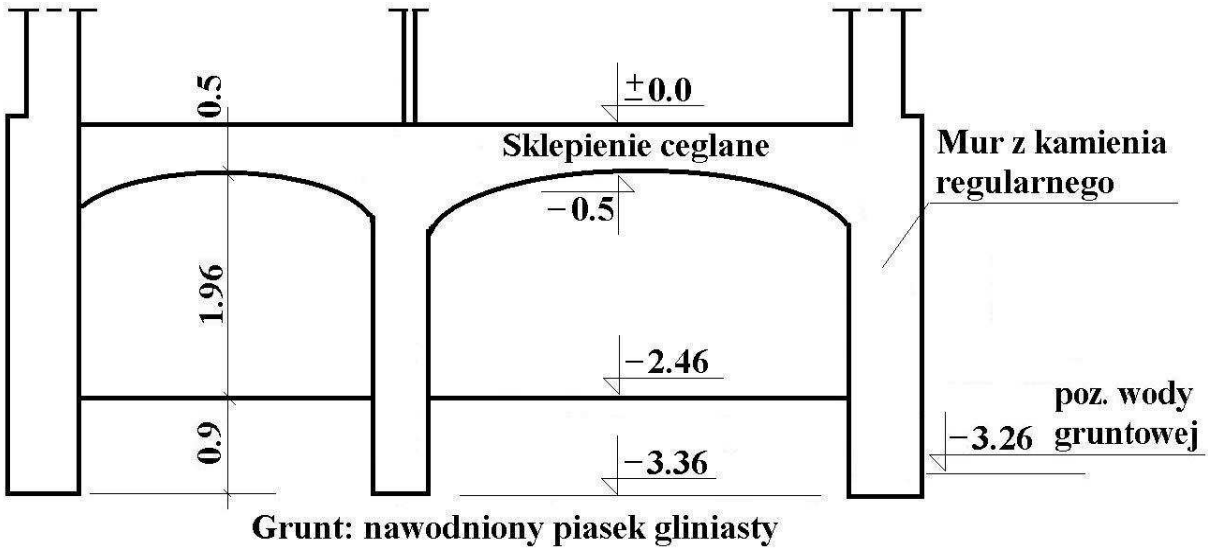
Rys. 5. Ocena szkodliwości przebiegu drgań z rys. 3

W ocenie szkodliwości drgań pionowych wykorzystuje się zarejestrowane drgania pionowe stropu parteru (poz. posadzki Ip.). Maksymalna wartość przyspieszenia pionowych drgań stropu wyniosła $a_{zmax\ stropu} = 25\ cm/s^2 \approx 2.5\%\ g$ (g – przyspieszenie ziemskie). W najniekorzystniejszym przypadku strop podlega dodatkowemu obciążeniu dynamicznemu wynoszącemu 2.5% ciężaru stropu (łącznie z obciążeniem użytkowym). Wartość dodatkowego obciążenia dynamicznego jest tak mała, że nie ma potrzeby uwzględniać go w dalszej analizie dynamicznej.

4. Analiza uszkodzeń i ich przyczyn

W p. 3 wykazano, że drgania zarejestrowane podczas badań budynku nie mogły być przyczyną spękań ścian nośnych (elementów konstrukcyjnych) jakie występują w obiekcie. Długotrwałe działanie drgań od przejazdów pociągów może jedynie przyspieszać uszkodzenia budynku powodowane innymi przyczynami. W związku z powyższym należało szukać innych przyczyn uszkodzeń budynku.

W otoczeniu budynku dworca nastąpiło prawdopodobnie naruszenie stosunków wodnych na skutek zasypania (lub zamulenia) naturalnych ścieków lub rowów odprowadzających wody powierzchniowe, co doprowadziło do podniesienia się poziomu wody gruntowej i nawodnienia gruntu pod fundamentami budynku – por. rys. 6. Oprócz tego, wpływ na taki stan może mieć woda ze stawu położonego w niedalekim sąsiedztwie budynku. Staw zasilany jest wodą z małej rzeczki. Woda gruntowa znajdująca się powyżej fundamentów powoduje nawilżenie i uplastycznienie gruntu przez co staje się on podatniejszy na wymywanie i wypieranie pod wpływem nacisków. Częściowo wymyte i osłabione poprzez nadmierne nawilżenie wodą gruntową podłoże gruntowe pod fundamentem nie jest w stanie przenosić pionowych obciążeń na grunt. Jest to przyczyną osłabienia podłoża gruntowego, co w konsekwencji prowadzi do nierówno-miernego osiadania budynku.



Rys. 6. Przekrój piwnic

Charakter pęknięć ściany podłużnej, nadproży i fundamentu od strony zachodniej (od strony placu dworcowego) oraz pęknięcia ściany podłużnej i nadproży od strony torów kolejowych pozwalają przypuszczać, że wystąpiły one właśnie na skutek nierównomiernego osiadania podłoża gruntowego pod fundamentami ścian nośnych budynku.

Woda gruntowa penetrując ściany fundamentowe powoduje zawilgocenie zaprawy pomiędzy blokami kamiennymi. Prowadzi do obniżenia wytrzymałości zaprawy i zwiększenia jej

odkształcalności. Woda dostaje się poprzez osłabione mury do wnętrza budynku powodując jego zawilgocenie, zniszczenie tynków i cegieł murów piwnic.

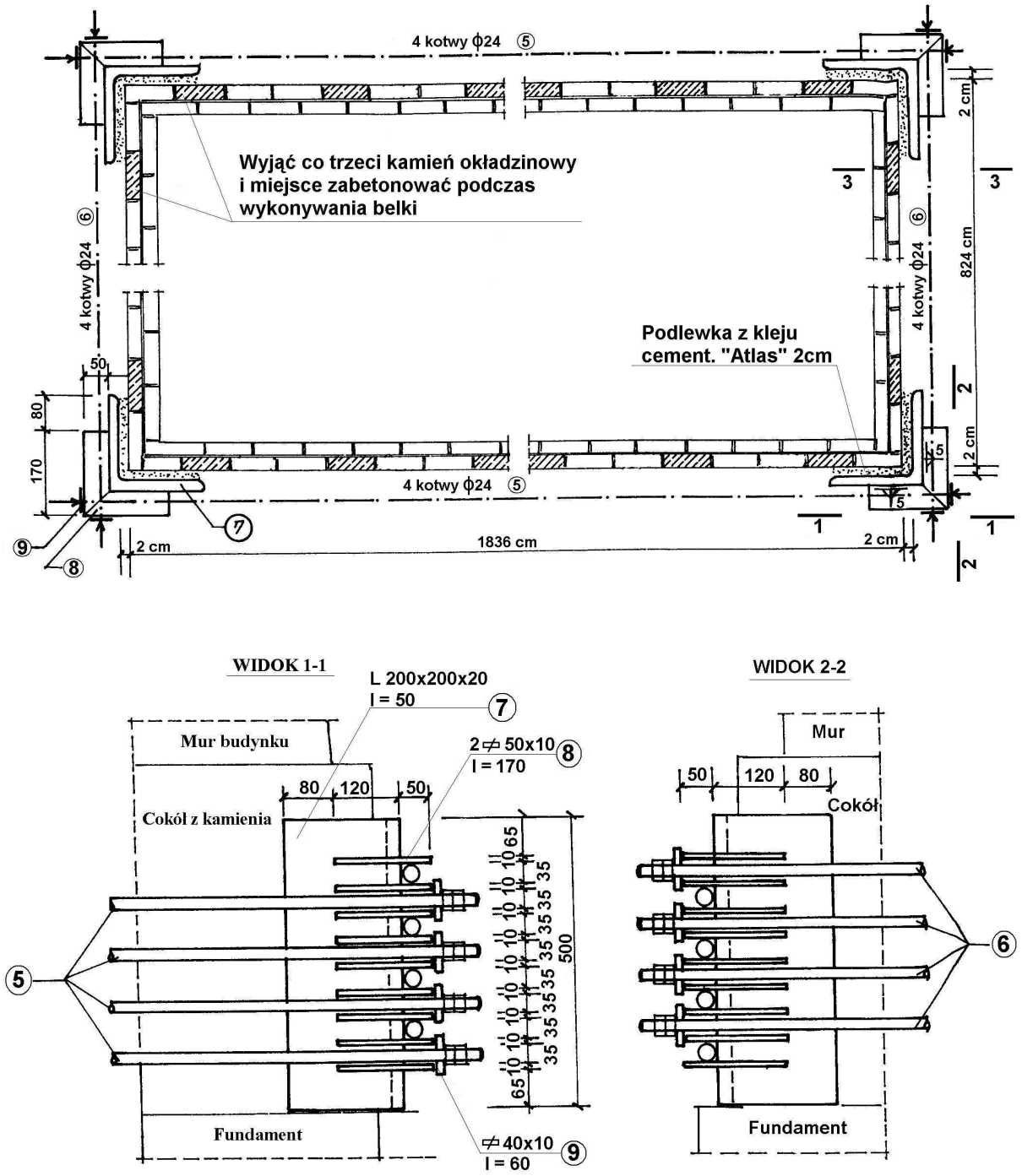
Stropy budynku, a szczególnie strop nad Ip., są nadmiernie obciążone. Obciążenia te są przekazywane poprzez belki stropowe na spękane nadproża okienne. Drewniane belki stropowe są kładzione co ok. 90 cm. Powoduje to, że ich oparcia na zewnętrznych ścianach nośnych wypadają dokładnie nad nadprożami okiennymi. Nadproża okienne są osłabione poprzez pęknięcia i zarysowania, a więc ich sztywność jest mniejsza niż nadproża nieuszkodzonego. Obciążenia przekazywane ze stropu na zewnętrzne ściany nośne w miejscach oparcia belek stropowych, mogą przyczyniać się do dalszego powiększania uszkodzeń nadproży okiennych. Szczególnie strop nad Ip. jest nadmiernie obciążony poprzez warstwę cegły i muru ceglanego.

Stan plomb stwierdzony podczas wizji lokalnych potwierdza hipotezę, że prawdopodobnie nastąpiło naruszenie stosunków wodnych wokół budynku. Proces nierównomiernego osiadania budynku w czasie, szczególnie widoczny jest w jego południowej, niepodpiwniczonej części. Świadczy o tym stan plomb w tej części obiektu.

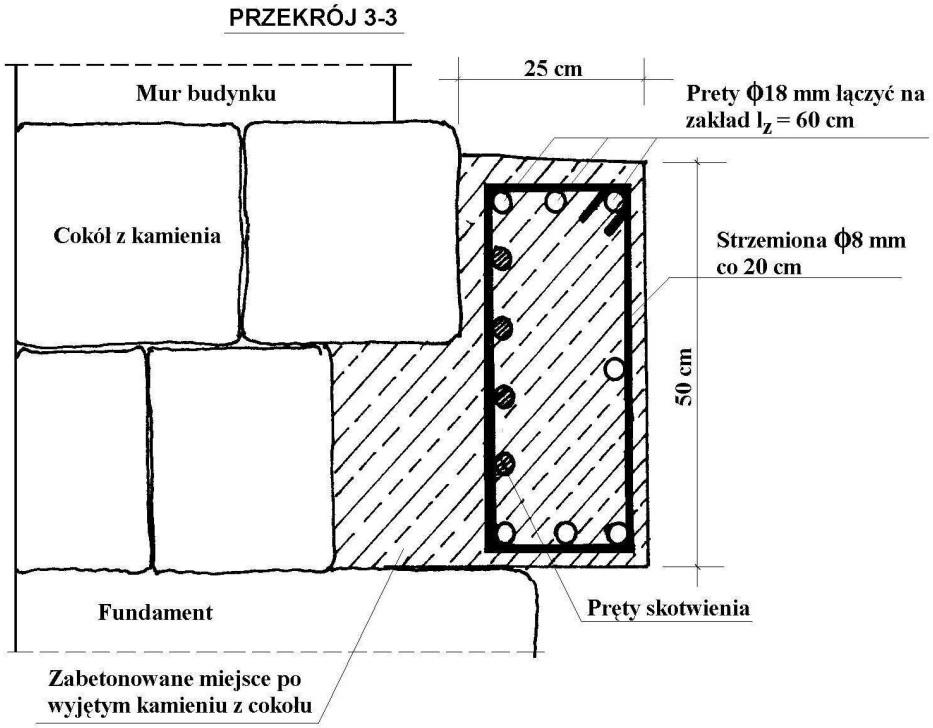
5. Propozycja naprawy i wzmocnienia budynku

W p. 4 pracy przeanalizowano możliwe przyczyny powstania uszkodzeń budynku. Poniżej przedstawia się zakres prac remontowych i zabezpieczających mających na celu powstrzymanie dalszej degradacji budynku oraz naprawę uszkodzonych elementów nośnych konstrukcji. Proponowane wzmocnienie i prace remontowe powinny być poprzedzone pracami mającymi na celu usunięcie przyczyn uszkodzeń. Pełny zakres tych prac obejmowałby uregulowanie stosunków wodnych w bezpośrednim sąsiedztwie budynku, wzmocnienie gruntu i fundamentów (np. odcinkowe jego poszerzenie), założenie izolacji poziomej i pionowej budynku w celu zaniku penetracji wody gruntowej w ściany i ograniczenia dalszego osłabiania ścian.

W istniejących warunkach proponuje się wykonanie wzmocnienia budynku oraz naprawy uszkodzonych ścian nośnych. Wzmocnienie budynku zaleca się wykonać w trzech poziomach (terenu, stropu parteru i stropu Ip.). Wzmocnienie to polegać będzie na skotwieniu budynku w dwóch kierunkach, poprzecznym i podłużnym. Ściągi wykonane będą z prętów stalowych Φ24; ich liczba będzie wynosić w poziomie: a) terenu 4szt., b) stropu parteru i stropu Ip. po 2szt. W poziomie stropu parteru i Ip. ściągi proponuje się przeprowadzić wzdłuż nośnych ścian zewnętrznych w bruzdach (o głębokości ok. 8 – 9 cm) wykutych w murze. Bruzdy na kotwy nie mogą przecinać sklepień nad oknami. Po wykonaniu ściągów bruzdy należy wypełnić zaprawą cementowo – wapienną, po uprzednim dokładnym namoczeniu bruzdy wodą. W poziomie terenu, ściągi i ich skotwienia mają: a) przebiegać na zewnątrz ścian nośnych, tak w kierunku poprzecznym, jak i podłużnym, b) być obetonowane. Na rys. 7 przykładowo przedstawiono proponowane wzmocnienie budynku w poziomie parteru (w poziomie terenu). Z uwagi na istniejące pęknięcie ściany piwnicy, oddzielającej część podpiwniczoną od części niepodpiwniczonej budynku, proponuje się również wykonanie skotwienia budynku w kierunku poprzecznym wzdłuż tej ściany, za pomocą stalowych ściągów (2Φ24). Ściągi te powinny przebiegać pod stropem piwnicy, w poziomie wezgłowia sklepienia. Wykonanie skotwień budynku należy rozpocząć od poziomu stropu Ip. i parteru, a następnie zrealizować skotwienie w poziomie parteru bez wyciągania narożnikowych kamiennych ciosów. Naprawa pęknięć ścian budynku (fundamentowych i nośnych) powinna być zrealizowana poprzez iniekcje zaczynu cementowego w rysy lub przemurowania. W tej koncepcji wzmocnień można by również wymienić ciężkie warstwy stropowe nad Ip. (cegła i gruz ceglany) na lżejsze, co zmniejszyłoby obciążenia przekazywane przez belki stropowe na zewnętrzne, uszkodzone ściany nośne.



Rys. 7. Proponowane wzmocnienie budynku w poziomie parteru (terenu)



Rys. 7 cd. Proponowane wzmocnienie budynku w poziomie parteru (terenu)

6. Wnioski i uwagi końcowe

Na podstawie przeprowadzonych pomiarów drgań budynku dworca wzbudzanych przejazdami pociągów i ich analiz wykazano, że zarejestrowane drgania nie są szkodliwe dla konstrukcji budynku, a więc nie mogą być bezpośrednią przyczyną uszkodzeń elementów konstrukcyjnych. Stwierdzono najniekorzystniejszy poziom drgań o parametrach znajdujących się w II strefie skali SWD-II. Drgania takie, na skutek ich długotrwałego działania, mogą przyczyniać się do przyspieszenia niszczenia wypraw malarskich i rysowania tynków, a więc powodować tzw. uszkodzenia architektoniczne. Drgania takie, działając długotrwale, mogą przyspieszać uszkodzenia powodowane innymi przyczynami. Wykazano, że dodatkowe dynamiczne obciążenie stropu nad parterem na skutek jego pionowych drgań nie przekracza 2.5% ciężaru stropu. Takie dodatkowe obciążenie jest traktowane jako zaniedbywalnie małe.

Z analizy zachowania się elementów konstrukcyjnych budynku ustalono prawdopodobne przyczyny ich uszkodzeń. Na podstawie analizy uszkodzeń elementów konstrukcyjnych budynku (nadproża okienne, ściany nośne budynku i ściany fundamentowe) stwierdzono, że są one wynikiem nierównomiernego osiadania podłoża gruntowego na skutek jego uplastycznienia pod fundamentami na skutek podniesienia się zwierciadła wody gruntowej do poziomu posadowienia budynku. Podniesienie się poziomu wód gruntowych zostało prawdopodobnie spowodowane zakłóceniem w odprowadzaniu wód powierzchniowych z okolicznego terenu.

Pełne zabezpieczenie budynku wymagałoby uregulowania stosunków wodnych, rozpoznania podłoża pod fundamentami, wykonanie stabilizacji gruntu pod fundamentami i wzmocnienie fundamentów np. poprzez odcinkowe ich poszerzenie, a dalszej kolejności skotwienia ścian. Sposób ten jest jednak bardzo kosztowny i jego realizacja powinna być poprzedzona szczegółową analizą ekonomiczną.

Podano propozycję częściowego zabezpieczenia budynku w istniejących warunkach gruntowo – wodnych, polegającą na wykonaniu odpowiednich skotwień w poziomie parteru,

Ip. i stropu nad I piętrem budynku. Zabezpieczenie to wymagałoby stałej kontroli polegającej na założeniu plomb w miejscach gdzie obecnie występują rysy i pęknięcia i ich okresowej obserwacji. Gdyby po wykonaniu proponowanych skotwień budynek dalej doznawał uszkodzeń należałoby wykonać podane powyżej pełne zabezpieczenie obiektu, albo podjąć decyzję o rozbiórce.

Literatura

1. Ciesielski R, Maciąg E.: Drgania drogowe i ich wpływ na budynki, WKiŁ, Warszawa 1990.
2. PN-85/B-2170: Ocena szkodliwości drgań przekazywanych przez podłoże na budynki.