

# Metodyka badań i rewitalizacji obiektów zabytkowych

Dr inż. Janusz R. Krentowski, Politechnika Białostocka

Dr inż. Piotr Knyziak, Politechnika Warszawska

## 1. Wprowadzenie

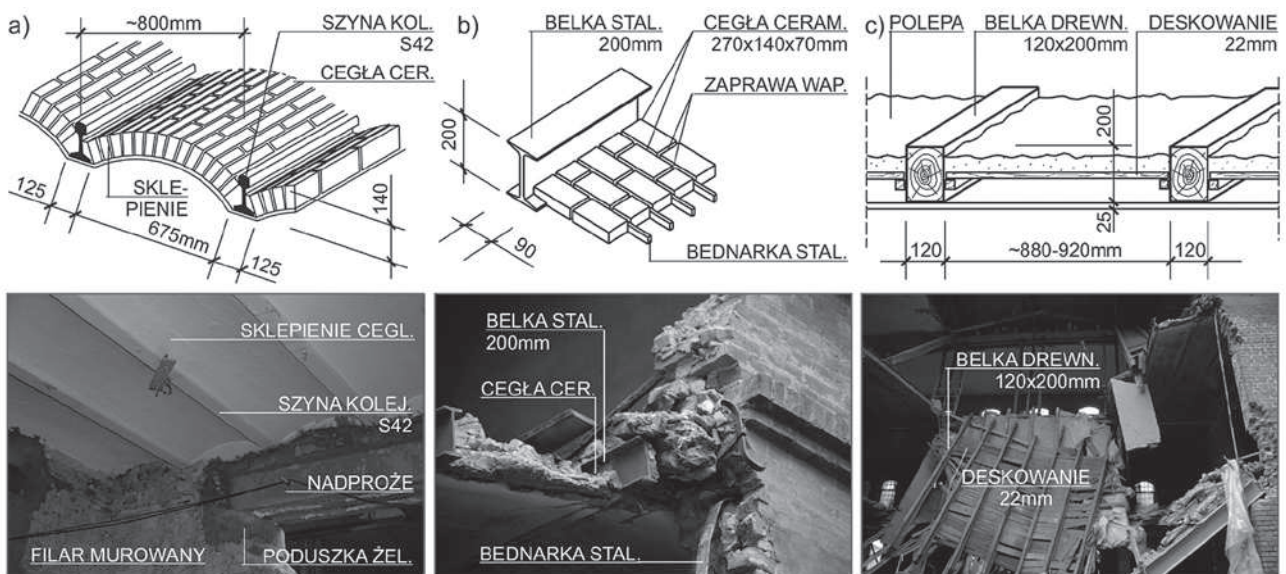
Obiekty zabytkowe pełnią istotną funkcję w kształtowaniu kultury poszanowania dziedzictwa narodowego. Konstruktorzy tych budowli na przestrzeni stuleci wykazali się ogromnym kunsztem, nadając im niepowtarzalne, często monumentalne struktury. Działalność inwestycyjna w zakresie konserwacji obiektów zabytkowych, wzniesionych przed kilkudziesięciu, a nawet przed kilkuset laty, np. adaptacja do współczesnych funkcji [16], czy procesy wzmocnienia elementów konstrukcji budynku, nie mogą wynikać jedynie z aktualnego stanu określonego w procesie normalizacji. Prace konserwatorskie, restauratorskie oraz budowlane powinny być również efektem uwzględnienia aspektów naukowo-badawczych [15]. Etap remontu, przebudowy czy modernizacji zabytkowych budynków powinien zostać poprzedzony przeprowadzeniem szczegółowych badań, a następnie opracowaniem dokumentacji projektowej [3, 17, 18, 19]. W celu wyeliminowania możliwości wystąpienia awarii lub katastrofy współpraca projektantów z branży architektonicznej i konstrukcyjnej, poczynając od stadium inwentaryzacji, poprzez stadium projektowe [14] i pełnienie nadzoru autorskiego, może zostać zakończona dopiero po przekazaniu zmodernizowanego obiektu do eksploatacji. Najważniejszym kryterium poprawnie zrealizowanej modernizacji jest bezpieczeństwo wykonawców

robót budowlanych oraz przyszłych użytkowników. Wszelkie prace, począwszy od etapu badania stanu obiektu, należy konsultować z przedstawicielem lokalnego konserwatora zabytków [11, 12].

Na obecnych użytkownikach obiektów spoczywa odpowiedzialność za zachowanie pierwotnych form poprzez cykliczne restaurowanie, a w razie powstania uszkodzeń, naprawy. Przewidywany, długi okres trwałości obiektów zabytkowych zmusza do skrupulatnych, częstszych niż w przypadku innych budowli, przeglądów. Wynika to z faktu wyeksploatowania i zużycia technicznego materiałów stosowanych przy wznoszeniu, w związku m.in. z pozastatycznymi oddziaływaniami czynników agresywnego środowiska.

## 2. Identyfikacja historycznych rozwiązań konstrukcyjnych

Budynki mieszkalne, obiekty użyteczności publicznej, np. szkoły, uniwersytety, teatry, czy budynki produkcyjne w XVIII, XIX wieku, na początku XX stulecia realizowano najczęściej w technologii tzw. tradycyjnej jako murowane z cegły ceramicznej, posadowione na fundamentach betonowych, kamiennych lub ceramicznych, wykorzystujące stropy w postaci sklepień ceglanych, płyt opartych na belkach stalowych, z poddaszami i więźbą dachową o konstrukcji drewnianej (rys. 1) [1, 2]. Ściany konstrukcyjne, o zróżnicowanych



Rys. 1. Typowe rozwiązania konstrukcyjne zabytkowych stropów: a) sklepienie ceglane, b) płyta ceglana na belkach stalowych, c) strop drewniany [7, 8]

grubościach, murowano z cegły ceramicznej pełnej na zaprawie wapiennej i tynkowano wyprawą wapienną. Stosowano cegły ceramiczne pełne o wymiarach: 27×13×7 cm. Nadproża nad otworami wykonywano jako płaskie, typu Kleina oraz z walcowanych belek stalowych, a lokalnie jako sklepienia łukowe, murowane z cegły ceramicznej na zaprawie wapiennej.

### 3. Kryteria doboru i klasyfikacji metod badawczych

W okresie wieloletniej eksploatacji niezabezpieczone właściwie elementy konstrukcji zabytkowych narażone były na działanie obciążeń pozastatycznych, na przykład wilgoci i zmiennych temperatur wynikających z agresywnego wpływu środowiska atmosferycznego. Brak właściwej konserwacji prowadzi w konsekwencji do przekroczenia warunków stanów granicznych nośności oraz użyteczności w aspekcie zarysowań, spękań, a także nadmiernych odkształceń elementów konstrukcyjnych.

Zróznicowane stadia stanów destrukcji elementów, odmienne rozwiązania konstrukcyjne i zastosowane materiały zrealizowanych i eksploatowanych przez wiele lat obiektów zabytkowych determinują dobór właściwych metod badawczych [4, 13]. Podczas prac diagnostycznych autorzy badali stan struktury historycznych materiałów, analizowali złożone stany naprężeń w zdegradowanych elementach konstrukcji, formułowali i weryfikowali koncepcje studialne unikalnych konstrukcji zabezpieczających. Efektem finalnym było wdrożenie opracowanych rozwiązań, co umożliwiło wieloletnią, bezawaryjną eksploatację kilkunastu obiektów.

### 4. Badania procesów degradacji materiałów ceramicznych i karbonizacji zaprawy

W istniejących obiektach, na starych murach były układane wyprawy wapienne. Podstawą makroskopowej oceny konstrukcji murów są zarysowania zarówno substancji nośnej, jak



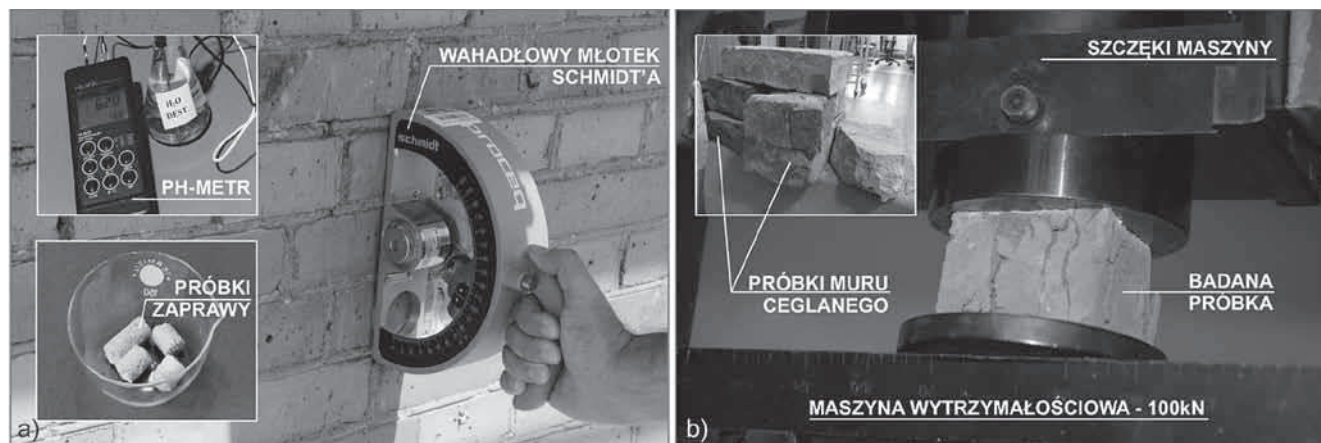
Rys. 2. Stadia degradacji zaprawy w spoinach murów ceglanych

i wyprawy zewnętrznej [11, 12]. Wykonywana identyfikacja rys i uszkodzeń służy wykazaniu zakresu uszkodzeń, mechanizmu ich działania, a w szczególności powinna doprowadzić do wykrycia źródeł wywołujących zniszczenie. Prawidłowe rozpoznanie techniczne rzeczywistego obrazu zarysowań może stanowić podstawę oceny diagnostycznej istniejącego stanu, przyczyn zarysowania, stopnia szkodliwości rys oraz możliwości naprawy.

Oceniano również wpływ zmian dokonanych w ciągu kilkudziesięciu lat eksploatacji obiektów, m.in. usuwania fragmentów murowanych ścian konstrukcyjnych czy usztywniających strukturę budynku, na wystąpienie zjawisk spękania murów ceglanych i tynków wapiennych. W celu oceny, czy pod spękanymi tynkami również struktura murów ulegała zarysowaniu, miejscowo odsłaniano fragmenty powierzchni warstwy konstrukcyjnej.

Czynnikiem, który inicjuje zjawisko degradacji zapraw, jest wpływ „miękkich” wód opadowych powierzchniowo działających na zniszczone i eksploatowane od dziesiątków lat fundamenty i mury zewnętrzne. Efektem wpływu nadmiernego zawilgocenia materiałów wykorzystanych do konstruowania budynków jest progresja zjawiska destrukcji zapraw służących jako spoiwa elementów murowych. Stan zaprawy i jej własności można scharakteryzować w wyniku badania procesów karbonizacji, które mają istotny wpływ na cechy sprężyste oraz trwałość konstrukcji murowanych z cegły lub kamienia oraz tynków i wypraw elewacyjnych.

Na etapie makroskopowego badania zaprawy w spoinach zewnętrznych warstw murów stwierdzano kruszenie się



Rys. 3. Badania konstrukcji murowych: a) szacowanie wytrzymałości struktury muru, b) badania stopnia pH, niszczące badania wytrzymałości cegły i muru [7]



zaprawy i brak spójności ziaren piasku. Podczas realizacji odkrywek i inwentaryzacji rys stwierdzano, iż powierzchniowe warstwy zaprawy wapiennej w spoinach murów są porowate, co wskazywało na efekt działania procesów korozyjnych. Stan zaprawy i jej własności dobrze charakteryzują pH-metryczne badania procesów karbonizacji materiału, które mają istotny wpływ na cechy sprężyste, trwałość murowanej konstrukcji i przyczepność tynków wewnętrznych. Badania procesów karbonizacji realizowano w wyciągach wodnych z zapraw. Uzasadniano, iż zaprawa w zewnętrznych warstwach muru wykonanego przed ponad 100 laty jest pozaklasowa i nieodporna na działanie czynników środowiskowych. Przeprowadzono analizy własności wiążących zapraw wapiennych oraz cementowo-wapiennych, istniejących w spoinach zabytkowych murów oraz cech wpływających na trwałość i przyczepność wypraw elewacyjnych do substancji murów eksploatowanych na przestrzeni przeszło stu lat.

Przykłady stadiów degradacji struktury murów ceglanych w efekcie działania postępujących procesów zjawisk karbonizacyjnych ilustruje rysunek 2. Dokumentację realizowanych niszczących i nieniszczących badań konstrukcji murowych stanowi rysunek 3.

## 5. Badania aktualnych parametrów materiałowych stropów na belkach stalowych

Ocenę przydatności elementów konstrukcyjnych w procesie planowanej modernizacji dokumentowano zrealizowaniem badań, zmierzających do określenia aktualnych parametrów fizycznych i wytrzymałościowych historycznych materiałów. Między innymi, na podstawie badań laboratoryjnych, określano granicę plastyczności oraz wytrzymałość i podatność na odkształcenia plastyczne stali, z której wykonywano belki konstrukcyjne, wytrzymałość zaprawy wapiennej, wytrzymałość cegieł, z jakich wykonane były sklepienia. W wyniku badań doświadczalnych wyznaczono momenty bezwładności belek, których nie zidentyfikowano w dostępnych opracowaniach. Przykładowo w trakcie prac inwentaryzacyjnych prowadzonych „in situ” w obiekcie opisanym [8] udokumentowano następujące wady w strefach konstrukcji stropów i sklepień opartych na belkach stalowych:

- strefy zawilgoceń stropów o różnej intensywności, powodowane np. aktywnymi przeciekami z instalacji kanalizacyjno-wodociągowej, lub wynikające z nadmiernej wilgotności powietrza w pomieszczeniach zlokalizowanych poniżej poziomu terenu;
- korozję zbrojenia stropów Kleina, lokalnie prowadzącą do całkowitego zaniku bednarki w spoinach płyty ceglanej;
- korozję wżerową powierzchni półek oraz śródników belek stalowych stropów Kleina, skutkującą lokalnie zanikiem fragmentów środnika lub półki;
- zaawansowane procesy korozyjne zbrojenia dolnego płyt i podciągów żelbetowych;
- procesy karbonizacji zaprawy wapiennej w spoinach



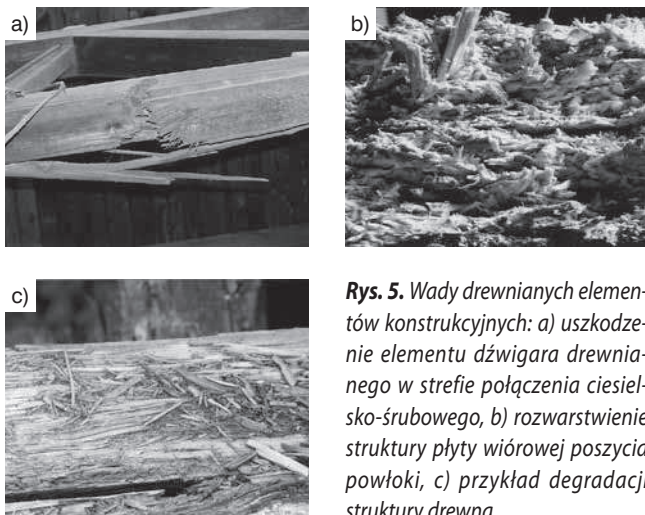
**Rys. 4.** Zdegradowana struktura belek stalowych w efekcie procesów korozyjnych [8]

sklepień ceglanych i stropach Kleina oraz korozję chemiczną cegieł.

Pomimo analitycznego potwierdzenia poprawnej nośności sklepień odcinkowych ze względów bezpieczeństwa w wytypowanych pomieszczeniach przeprowadzono badania polegające na próbnym obciążeniu zabytkowych stropów, skonstruowanych o bardzo zróżnicowanym układzie warstw. Jako obciążenie wykorzystano bloczki betonowe, zgromadzone na placu remontowanego obiektu. Uzyskane wyniki ugięć nie osiągnęły połowy wartości granicznych, określonych w aktualnych normach, pomimo 40% przeciążenia badanych konstrukcji. Po etapie odciążenia odkształcenie konstrukcji stropów osiągnęło nieznaczne wartości ujemne, czyli strop usytuował się ponad poziomem początkowym.

## 6. Stadia degradacji drewnianych elementów konstrukcyjnych

Agresywny wpływ środowiska atmosferycznego na przestrzeni kilkudziesięciu lat stymulował występowanie rozwiniętych procesów korozji biologicznej i chemicznej, działającej na konstrukcyjne elementy drewniane. Do najistotniejszych czynników destrukcyjnych w przypadku drewna należą czynniki klimatyczne, zawilgocenie, promieniowanie ultrafioletowe, cykliczne zamarzanie oraz czynniki biologiczne spowodowane działalnością organizmów żywych, zwłaszcza grzybów, glonów, owadów i gryzoni. Biologiczny rozkład drewna w efekcie butwienia lub gnicia następuje przy wilgotności przekraczającej 30% i temperaturze około 40°C. Brak bezpośredniego dostępu światła słonecznego oraz uniemożliwienie wymiany powietrza sprzyjają rozwojowi procesów korozji biologicznej i chemicznej. Badania stanu wilgotności elementów drewnianych i drewnopochodnych wykonywano, wykorzystując zestaw higrometryczny. W zdegradowanych elementach drewnianych identyfikowano objawy zjawiska gnicia destrukcyjnego. W pierwszej fazie tego procesu następuje niszczenie włókien celulozy, gdzie procesy destrukcji są intensyfikowane za pomocą enzymów jako katalizatorów, wydzielanych przez komórki grzybów. W efekcie otrzymuje się rozpuszczalną w wodzie substancję zwaną glikozą, nie przedstawiającą wartości technicznej. Drugim etapem gnicia destrukcyjnego jest żerowanie bakterii, w wyniku którego glikoza przetwarza się w wodę i dwutlenek węgla. W okresie wieloletniej eksploatacji obiektów



**Rys. 5.** Wady drewnianych elementów konstrukcyjnych: a) uszkodzenie elementu dźwigara drewnianego w strefie połączenia ciesielsko-śrubowego, b) rozwarstwienie struktury płyty wiórowej poszycia powłoki, c) przykład degradacji struktury drewna

długotrwałe procesy utleniania powodują zmianę cech sprężystych drewna (rys. 5).

Proces systematycznego niszczenia dodatkowo przyspieszają procesy korozji biologicznej. W próbkach pobranych do badań wielokrotnie występowały otwory i chodniki larwalne. W elementach więźby identyfikowano podłużne pęknięcia, obniżające nośność konstrukcji i wytrzymałość drewna. We fragmentach badanych konstrukcji identyfikowano zmniejszenie ciężaru objętościowego drewna o 20–30 %, co praktycznie dyskwalifikowało materiał pod względem konstrukcyjnym.

## 7. Badania jakości elementów betonowych

Wytrzymałość betonu w obiektach zabytkowych oceniano na podstawie wyników badań metodami niszczącymi, nieniszczącymi lub w efekcie porównania uzyskanych rezultatów. Nieniszcząca metoda badań jakości betonu przy wykorzystaniu młotka Schmidta od wielu lat jest najpowszechniejszym sposobem klasyfikowania parametrów zrealizowanych elementów konstrukcji betonowych i żelbetowych. Wytrzymałość i jednorodność betonu określano za pomocą pomiaru liczby odbicia, a następnie statystycznej analizy wyników pomiarów na podstawie zależności empirycznych. W badaniach nieniszczących betonu wielką rolę odgrywa dobór właściwych zależności korelacyjnych. Zależności te wyznaczano metodą dokładnego określenia związków empirycznych, na podstawie analizy statystycznej wyników badania próbek betonowych, zwanej skalowaniem lub metodą dobierania hipotetycznej krzywej regresji odpowiednio do składu, technologii wykonania, warunków pielęgnacji oraz wieku i wilgotności betonu.

Na przestrzeni lat zmianom ulegały wytyczne realizacji pomiarów [9], lecz interpretacja wyników zawsze budziła wątpliwości w aspekcie dokładności uzyskiwanych rezultatów. Zharmonizowanie polskich norm badań nieniszczących z normami europejskimi wymagało zweryfikowania dotychczasowych metod badawczych w zakresie sposobu realizacji pomiarów oraz liczby odczytów.

## 8. Badania obciążenia temperaturą

Oddziaływania klimatyczne w okresie wieloletniego użytkowania powodują cykliczne zmiany naprężeń i odkształceń. Gradient zmian temperatury, a w konsekwencji zjawiska zróżnicowanej rozszerzalności termicznej materiałów powłok i konstrukcji podporowych, przy braku właściwych rozwiązań umożliwiających wzajemne przemieszczenia, prowadzą do wystąpienia momentów zginających w cienkościennych elementach powłok kształtowanych z blach, materiale murów ceglanych lub kamiennych oraz w strukturach wykonanych z betonu.

W zabytkowych obiektach autorzy identyfikowali objawy stanu spękań i zarysowań widoczne na elementach nieogrzewanych od wewnątrz i nie izolowanych od wpływów promieniowania słonecznego, poddanych cyklicznym zmianom temperatury w okresach letnich i zimowych oraz zmianom wilgotności zmieniającej strukturę materiału szczególnie w okresach działania temperatur ujemnych.

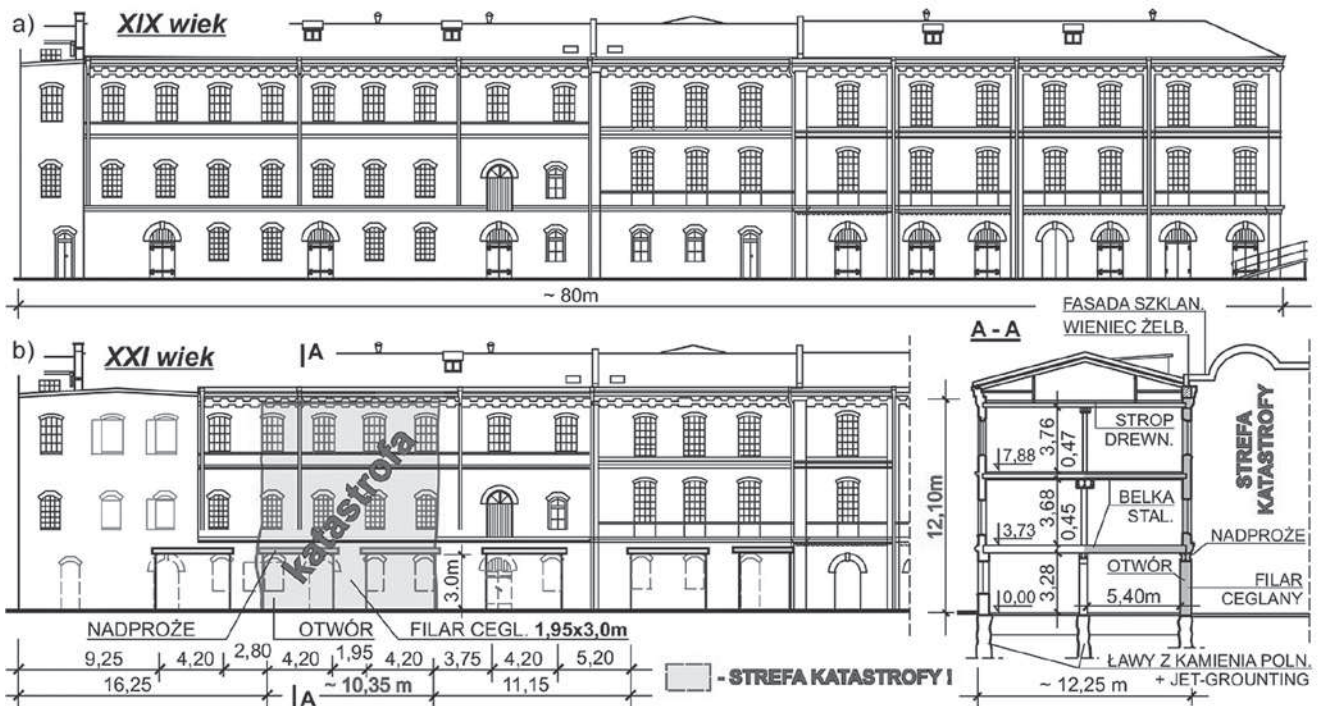
Wykorzystując technikę pirometryczną, przeprowadzono badania rzeczywistych wartości obciążeń, na jakie narażone są zewnętrzne powierzchnie w trakcie eksploatacji obiektów. Ze względu na realizację pomiarów w różnych porach dnia możliwe było indywidualne określanie dobowych amplitud temperatury powietrza zewnętrznego jak również prowadzenie obserwacji szybkości wzrostu temperatury warstw elewacyjnych i powierzchni materiałów powłok po nocnym wychładzaniu. Wykonane przez autorów badania i analizy rzeczywistych wartości termicznego obciążenia elementów konstrukcji świątyn wykazały, iż usytuowanie obiektu względem stron świata odgrywa znaczący wpływ na powstanie zjawisk destrukcyjnych. Obciążenie elementów zmienną temperaturą było szczególnie istotne dla fragmentów eksponowanych od strony południowej. Istotnym czynnikiem stymulującym stadium propagacji zjawisk destrukcyjnych okazał się dobór kolorów elewacji w odcieniach ciemnych, które bardziej absorbowały promieniowanie termiczne.

## 9. Przykłady wzmocnień i rewitalizacji zabytkowych obiektów

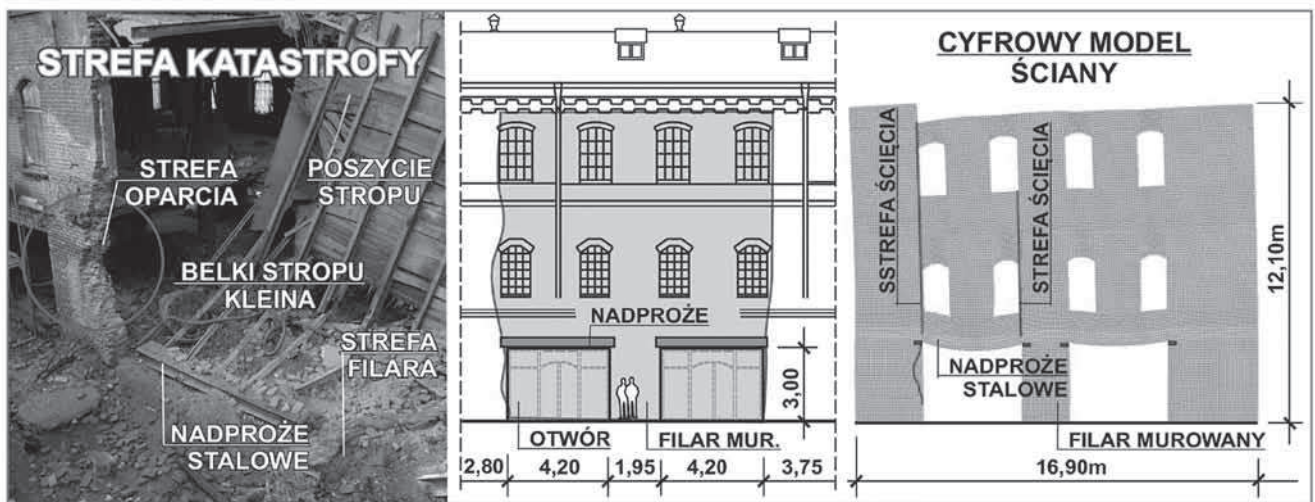
Przedstawiona metodyka badań i oceny obiektów zabytkowych została wykorzystana przy ocenie budynku, który uległ katastrofie podczas prac modernizacyjnych, prowadzonych zgodnie z założeniami szczegółowej dokumentacji projektowej (rys. 6). Procedura działań została szczegółowo przedstawiona w [7]. Katastrofa polegała na niesygnalizowanym zawaleniu zewnętrznej murowanej ściany konstrukcyjnej z opartymi na niej stropami w XIX-wiecznym obiekcie przemysłowym w północno-wschodniej Polsce.

Po przeprowadzeniu badań zidentyfikowano przyczyny katastrofy, oceniono przydatność elementów konstrukcyjnych do procesu odbudowy, a także opracowano projekt

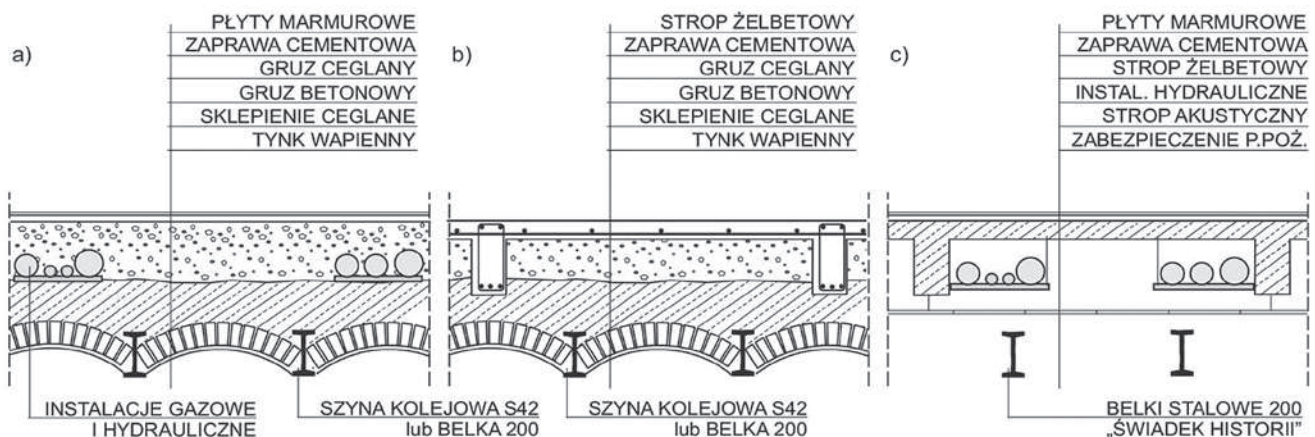




Rys. 6. Zabytkowa XIX-wieczna fabryka: a) elewacja historyczna, b) elewacja i przekrój podczas etapu modernizacji



Rys. 7. Graficzna interpretacja przyczyn i skutków katastrofy



Rys. 8. Koncepcja odbudowy zdegradowanych stropów: a) sklepienie ceglane, b) etap rekonstrukcji, c) projektowana konstrukcja nowego stropu

odbudowy. Zniszczony fragment konstrukcji budynku został zrekonstruowany w postaci monolitycznej, trzykondygnacyjnej ramy. Warstwę zewnętrzną zrekonstruowano z cegły uzyskanej w procesie utylizacji elementów zniszczonych w trakcie katastrofy, uzyskując wrażenie estetyczne w postaci jednolitej powierzchni elewacyjnej.

W kolejnym obiekcie zabytkowym, opisanym w [8], zidentyfikowano wady stropów zilustrowane na rysunku 4. Zasadniczą przyczyną zaistniałych uszkodzeń belek stalowych były zawilgocenie powodowane, niezidentyfikowanymi przez użytkownika przeciekami z instalacji wodno-kanalizacyjnej. Dodatkowy wpływ na stan stropów miała penetracja wody opadowej oraz trwałe zawilgocenie zewnętrznych murów piwnicznych i wypraw tynkarskich, co powodowało nadmierną, prawie 100%, wilgotność powietrza w pomieszczeniach zlokalizowanych poniżej poziomu terenu.

Przyjęto koncepcję, aby wymianę sklepień ceglanych na płytowo-żebrowe stropy monolityczne realizować etapami. Podczas prac rozbiórkowych, zmierzających do wymiany nieszczelnych elementów instalacji sanitarnych, usunięto kilkudziesięciocentymetrową warstwę wypełnienia. Po usunięciu gruzu ceglano oraz keramzytu zaobserwowano mikrozarysowania pojawiające się na dolnych powierzchniach zabytkowych sklepień. W strefach prowadzonych prac sklepienia zostały niezwłocznie podparte, a po rozbiórce fragmentów sklepień zidentyfikowano wady w postaci znacznych ubytków blach środknika belek dwuteowych na całej grubości. Skutkowało to wstrzymaniem wszelkich prac i zmianą koncepcji wykorzystania istniejących stropów. Na warstwie gruzu, wykorzystanej jako deskowanie, wykonano nowo projektowany, monolityczny strop płytowo-żebrowy, a następnie rozebrano i zutylizowano murowane sklepienia oraz wypełnienie gruzowo-keramzytowe. Na wniosek konserwatora zabytków fragmenty zniszczonych belek stalowych pozostawiono jako tzw. świadek historii obiektu.

## 10. Dyskusja

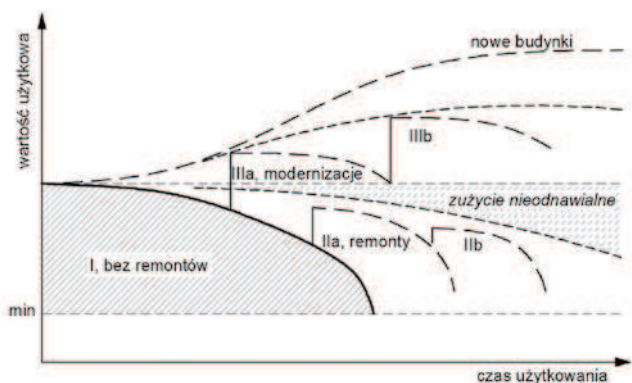
Obiekty zabytkowe stanowią widoczne świadectwo sztuki architektów i budowniczych z minionych stuleci. Jednak z upływem czasu parametry eksploatowanych budowli ulegają istotnej degradacji. Na przestrzeni kilkudziesięciu lub kilkuset lat były one poddawane działaniu szkodliwych czynników agresywnego środowiska atmosferycznego, mogły też zostać uszkodzone w wyniku działań wojennych. Istotną rolę odgrywa również w niektórych przypadkach niekontrolowana działalność człowieka. Modernizacja czy przebudowa obiektów zabytkowych powinna odbywać się na podstawie szczegółowej dokumentacji projektowej, poprzedzonej stosowną opinią konstrukcyjną, dodatkowo pod nadzorem konserwatora zabytków. Błędna ocena stanu technicznego konstrukcji na etapie badań i sporządzania ekspertyzy może skutkować niebezpiecznymi błędami projektanta. Parametry materiałów historycznych muszą być w każdym

przypadku indywidualnie oceniane. Wyniki badań wytrzymałościowych materiałów muszą być uzupełnione o wyniki badań fragmentów konstrukcji, ponieważ zwłaszcza w takich obiektach jakość wiązań czy łączników istotnie wpływa na nośność i stan konstrukcji.

W trakcie modernizacji istotną rolę odgrywają planowane nakłady finansowe. Jednak w każdym przypadku podstawowym kryterium powinno być bezpieczeństwo zarówno wykonawców, jak i przyszłych użytkowników. Prowadzenie remontowych robót budowlanych zawsze jest obciążone ryzykiem, wynikającym z niezajomości trudnych do precyzyjnego określenia parametrów wbudowanych materiałów, co może skutkować wystąpieniem nieprzewidzianych uszkodzeń, awarii czy nawet katastrof.

Wybór wykonawcy nie może być warunkowany najniższą ceną oferowanych prac. Inwestor musi sformułować szczegółowe kryteria, które pozwolą na zidentyfikowanie zagrożeń podczas procesu modernizacji zabytkowego obiektu oraz wybór wykonawcy legitymującego się odpowiednim doświadczeniem i kwalifikacjami zatrudnianego personelu technicznego. Ocena nośności elementów konstrukcyjnych modernizowanych obiektów zabytkowych nie może być prowadzona na podstawie wytycznych określonych w normach projektowania. O możliwości ingerencji w zabytkową substancję powinny decydować wyniki prac badawczych.

W większości przypadków prace modernizacyjne lub remontowe przy zachowaniu walorów historycznych muszą prowadzić również do istotnej poprawy wartości użytkowej (rys. 9). W budynkach zabytkowych trudno jest osiągnąć poziom użyteczności zbliżony do występującego w nowych budynkach [6], jednak stosowane rozwiązania powinny prowadzić do zwiększenia trwałości elementów obiektu budowlanego i podwyższenia poziomu bezpieczeństwa użytkowników. Pierwotnie stosowane rozwiązania konstrukcyjne w zabytkowych budynkach najczęściej w małym stopniu zabezpieczały przed dużymi zniszczeniami w przypadku zdarzeń wyjątkowych (wybuch, pożar, uderzenie pojazdu). Rozwiązania w ramach modernizacji powinny dążyć do uzyskania zwiększonej sztywności i współpracy elementów konstrukcji, tak aby w przypadku zdarzenia wyjątkowego zasięg uszkodzeń był jak najmniejszy (podobnie jak np. w [5]).



Rys. 9. Wartość użytkowa budynku z uwzględnieniem modernizacji [20]



W efekcie gruntownej analizy materiału zgromadzonego podczas badań sformułowano następujące ograniczenia użytkitarne skierowane do osób wykonujących prace budowlane oraz do użytkowników budynków i obiektów budowlanych:

- w procesie rekonstrukcji, podczas wielokrotnej modernizacji i przebudowy zabytkowych obiektów, powinno być zabronione traktowanie istniejących elementów jako konstrukcje nośne;
- w przypadkach „ograniczonego zaufania” do struktury zabytkowej substancji, obciążenia powinny być przenoszone przez niezależną konstrukcję, aby nie generować dodatkowych naprężeń;
- prace modernizacyjne muszą być prowadzone pod bieżącym nadzorem projektanta i kierownika robót; ponadto projektowe rozwiązania konstrukcyjne powinny być dostosowywane „ad hoc” do aktualnych, identyfikowanych parametrów fizycznych i wytrzymałościowych historycznej substancji, która jest odkrywana podczas robót;
- kształt i forma elementów konstrukcyjnych obiektów zabytkowych podczas robót modernizacyjnych powinna być pozostawiona w niezmienionej, historycznej postaci;
- należy rozważyć konieczność wzmocnienia historycznych elementów, których nośność nie pozwoli na bezpieczne przeniesienie obciążenia wynikającego z ciężaru własnego;
- główne elementy konstrukcyjne zmodernizowanego obiektu powinny zostać poddane stałemu monitoringowi [10].

## 11. Podsumowanie

W obiektach zabytkowych identyfikację uszkodzeń i określenie sposobu naprawy wad należy poprzedzić analizą kształtowania konstrukcji oraz ustaleniem rzeczywistych czynników agresywności środowiska zewnętrznego.

Ze względu na niepowtarzalny charakter zabytkowych obiektów sakralnych istotny jest właściwy dobór naukowo-badawczych metod diagnostycznych, przede wszystkim z zakresu badań nieniszczących, umożliwiających pozostawienie ocenianych substancji w stanie nienaruszonym.

W trakcie prac konserwatorskich niezbędne jest ustabilizowanie stanu propagacji zjawisk destrukcyjnych i zabezpieczenie elementów konstrukcyjnych i materiałów powłok oraz murów przed procesami degradacji, ze szczególnym uwzględnieniem korozyjnego wpływu środowiska i obciążeń pozastatycznych.

W efekcie przeprowadzonych badań określono najważniejsze przyczyny powodujące zniszczenie zabytkowych konstrukcji:

- traktowanie zabytkowych murów jako homogenicznej struktury o obniżonych parametrach wytrzymałościowych, podczas gdy wady wyeksploatowanych zapraw zmieniają taką strukturę w tzw. konglomerat niezależnych substancji; badania należy prowadzić dla próbek pobranych ze struktury muru, a nie tylko dla jej elementów, typu cegła, zaprawa, tynk;
- niekontrolowane usuwanie fragmentów stropów, wewnętrznych ścian konstrukcyjnych, usztywniających lub działowych, brak wieńców stropowych;

- pominięcie wpływu naprężeń dociskowych i ścinających, np. w strefach podporowych elementów nadprożowych, w przypadku wykonywania nowo projektowanych otworów;
- weryfikacja normowych warunków stanów granicznych bez poprawnej oceny rzeczywistych parametrów wytrzymałościowych elementów i ustrojów konstrukcyjnych;
- niedoszacowanie wpływu drgań, będących efektem zastosowania ciężkiego sprzętu budowlanego na podłożu podatnym na transmisję drgań, wpływu porywów wiatru na duże powierzchnie wobec braku skutecznych elementów usztywniających, wpływu reologicznej deformacji i mikroprzemieszczeń składników tworzących strukturę nośną;
- brak bieżącego nadzoru i korekt w rozwiązaniach projektowych przez autorów dokumentacji i rzeczoznawców. Należy również pamiętać, że każda ingerencja w zabytkową substancję, nawet ta, której bezpieczeństwo potwierdzono szczegółowymi badaniami, zawsze może stworzyć zagrożenie wynikające z ukrytych wad historycznych materiałów lub połączeń między nimi.

## BIBLIOGRAFIA

- [1] Drobiec Ł., Renowacja konstrukcji obiektów zabytkowych. Systematyka – uszkodzenia – naprawy. Cz. 1, Archmedia, 2018
- [2] Drobiec Ł., Jasiński R., Naprawy i wzmocnienia stropów w starym budownictwie, Izolacje 10/2017, str. 50–58
- [3] Drobiec Ł., Jasiński R., Zasady wykonywania dokumentacji ekspertyz, XV Konferencja Naukowo-Techniczna – Warsztat Pracy Rzecznawcy Budowlanego, Kielce-Cedzyna, 2018
- [4] Hoła J., Bien J., Sadowski L., Schabowicz K., Non-Destructive and Semi-Destructive Diagnostics of Concrete Structures in Assessment of Their Durability. Bulletin of the Polish academy of Sciens, Technical Science, tom 63, 1/2015, DOI: 10.1515/bpasts-2015-0010
- [5] Knyziak P., The impact of construction quality on the safety of prefabricated multi-family dwellings, Engineering Failure Analysis, tom 100, 2019, str. 37–48, DOI: 10.1016/j.engfailanal.2019.02.042
- [6] Knyziak P., Krentowski J., Bieranowski P., Risks of the Durability of Large-Panel Buildings Elevations in Reference to the Conclusions from Technical Conditions Audits, MATEC Web of Conferences, tom 117, 00080, 2017
- [7] Krentowski J., Chyży T., Dunaj P., Sudden collapse of a 19th-century masonry structure during its renovation process. Engineering Failure Analysis, tom 82, 12/2017, str. 540–553
- [8] Krentowski J., Mlonek S., Ziemiński K., Tofiluk A.M., Structural and technological aspects of the historical floors replacement. IOP Conference Series: Materials Science and Engineering, tom 471, 2019, str. 1–8
- [9] Krentowski J., Tribińto R., Badania wytrzymałości betonu w konstrukcjach inżynierskich z uwzględnieniem normatywów europejskich, Przegląd Budowlany 12/2006
- [10] Krentowski J., Knyziak P., Evaluation Aspects of Building Structures Reconstructed After a Failure or Catastrophe, IOP Conference Series: Materials Science and Engineering, tom 245, 032099, 3/2017
- [11] Krentowski J., Rekonstrukcja i rewitalizacja zabytkowego budynku Pod Łokietkiem w Ojcowie, Materiały Budowlane 9/2012, str. 56–57
- [12] Krentowski J., Tribińto R., Rewitalizacja zabytkowych sklepień ceglanych, Inżynieria i Budownictwo 3/2011, str. 139–141
- [13] Runkiewicz L., Rodzik W., Badania nieniszczące wytrzymałości murowanych obiektów zabytkowych, Inżynieria i Budownictwo 2/1990
- [14] Runkiewicz L., Sieczkowski J., Najczęściej popełniane błędy w projektowaniu konstrukcji budowlanych, Przegląd Budowlany 5/2019
- [15] Runkiewicz L., Diagnostyka konstrukcyjna obiektów budowlanych, Przegląd Budowlany 3/2006
- [16] Runkiewicz L., Podstawy prawne realizacji napraw, wzmocnienia i rozbiórki konstrukcji budowlanych, Przegląd Budowlany 10/2007
- [17] Runkiewicz L., Hoła J., Diagnostyka techniczna konstrukcji żelbetowych, Inżynieria i Budownictwo 7-8/2018, str. 397–405
- [18] Runkiewicz L., Hoła J., Metody i techniki diagnostyczne stosowane w ocenie stanu technicznego konstrukcji żelbetowych, Structure and Environment, str. 309–337, DOI: 10.30540/sae-2018-030
- [19] Runkiewicz L., Sieczkowski J., Ocena techniczna obiektów budowlanych z wykorzystaniem metod nieniszczących i seminieniszczących, Badania Nieniszczące i Diagnostyka 3/2018
- [20] Tofiluk A.M., Knyziak P., Krentowski J., Revitalization of twentieth-century prefabricated housing estates as interdisciplinary issue. IOP Conference Series: Materials Science and Engineering, tom 471, 2019, str. 1–8 DOI: 10.1088/1757-899X/471/1/1/12096