

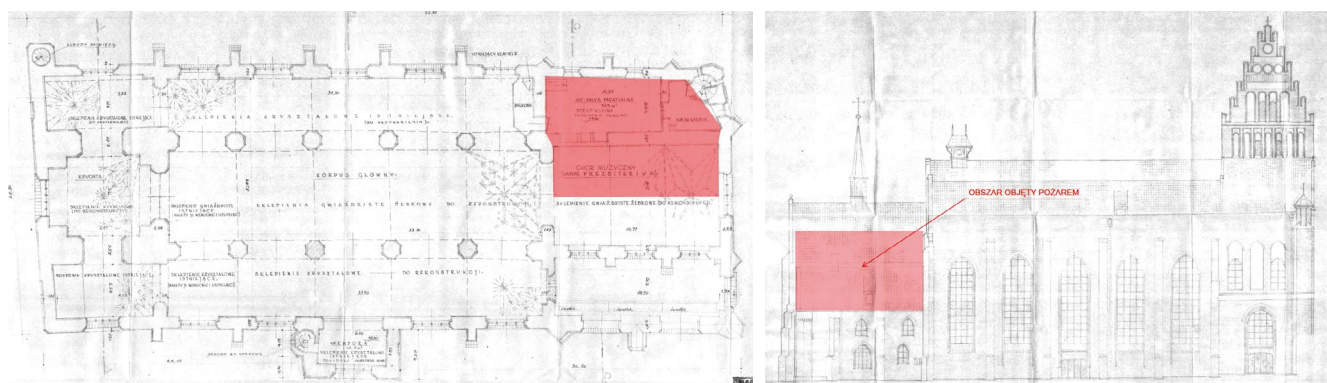
# Uszkodzenia pożarowe dachu budynku kościoła pw. Świętych Apostołów Piotra i Pawła w Gdańsku

Mgr inż. Tomasz Majewski, Politechnika Gdańska, Szkoła Doktorska Wdrożeniowa, dr hab. inż. Maciej Niedostatkiwicz, prof. uczelni, Katedra Konstrukcji Betonowych, Wydział Inżynierii Lądowej i Środowiska, Politechnika Gdańska

## 1. Wprowadzenie

Obciążenie akcydentalne, jakim jest pożar, wywołuje nie tylko straty materialne, stanowi również bardzo realne zagrożenie dla zdrowia i życia ludzkiego. Skutki usuwania uszkodzeń pożarowych oraz uszkodzeń wywołanych prowadzoną akcją gaśniczą są nie tylko bardzo kosztowne w realizacji, ale stwarzają przede wszystkim bardzo duże trudnienia organizacyjne [3, 6, 25–26]. Po pożarze

znajduje się zakrystia, nad którą są usytuowane pomieszczenia pomocnicze (magazyny sprzętu liturgicznego) (rys. 3). Dach północnej nawy bocznej nad pomieszczeniem magazynowym (nad zakrystią) był wykonany jako jednopółciowy, z drewnianym więzaniem dachowym typu płatwiowo-kleszczowego (jednostronnym/półkwowym), ze słupkami zlokalizowanymi w połowie pomieszczenia oraz przy wysokiej ścianie kościoła. Krokwie były oparte na dwóch ramach złożonych ze słupków oraz płatwi, ramie

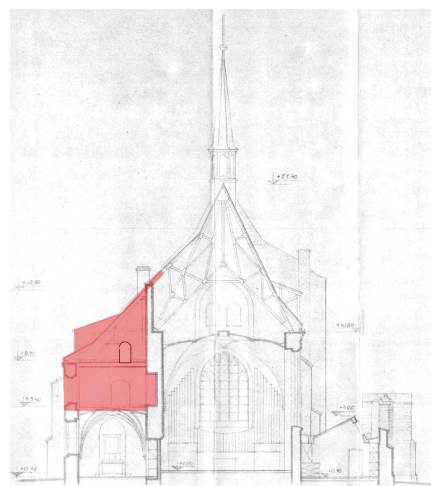


**Rys. 1.** Rzut i elewacja północna kościoła pw. Świętych Apostołów Piotra i Pawła w Gdańsku (na podstawie: archiwalnej dokumentacji inwentaryzacyjnej – kolorem czerwonym pokazano obszar objęty pożarem)

obiekty budowlane mogą kwalifikować się do całkowitej lub częściowej rozbiórki, co w przypadku obiektów zabytkowych nie jest możliwe. W tych przypadkach wymagana jest ich częściowa odbudowa, nierzadko połączona ze wzmocnieniem i odtworzeniem zniszczonych elementów konstrukcyjnych [4, 9–11, 13–15, 18, 22–24, 27]. W artykule przedstawiono opis uszkodzeń budynku kościoła pw. Świętych Apostołów Piotra i Pawła, spowodowanych pożarem i prowadzoną akcją gaśniczą. Obiekt wymagał odbudowy w trybie pilnym [5].

## 2. Dane ogólne

Zasadnicza (główna) bryła budynku kościoła pw. Świętych Apostołów Piotra i Pawła ma trzy nawy: główną (środkową) oraz dwie boczne (rys.1 i 2). Nawa środkowa jest zwieńczona prezbiterium, wzdłuż północnej nawy bocznej, na parterze



**Rys. 2.** Przekrój przez nawę środkową oraz boczną kościoła pw. Świętych Apostołów Piotra i Pawła w Gdańsku (na podstawie: archiwalnej dokumentacji inwentaryzacyjnej)



**Rys. 3.** Widok nawy środkowej i bocznej kościoła pw. Świętych Apostołów Piotra i Pawła w Gdańsku

niższej zlokalizowanej w środku pomieszczenia oraz ramie wysokiej zlokalizowanej przy ścianie podłużnej wewnętrznej. Na płatwiach były oparte przegubowo, na zakład wolnopodparte krokwie, łączone na zakład na płatwi pośredniej ramy niskiej.

Dach nad prezbiterium został odbudowany w drugiej połowie XX wieku po zniszczeniach wojennych jako stalowa, kratowa więźba dachowa. Pomieszczenie nad prezbiterium miało dach w formie stalowych, spawanych wiązarów kratowych, rozmieszczonych w rozstawie co ~300 cm, na których ułożono pokrycie z dachówki ceramicznej. Pręty kratownic wykonano głównie jako profile skrzynkowe z ceowników [ ] 80 mm, część elementów wykonano z kątowników L60×60×6 mm. Rozpiętość wiązarów dachowych wynosiła ~930 cm, a wysokość ~840 cm. Stężenia dachowe (połaciowe) wykonano z kątowników L60×60×6 mm.

### 3. Opis uszkodzeń pożarowych dachu

Na poddaszu zakrystii, w kościele miało miejsce zdarzenie losowe polegające na pożarze wywołanym zwarcieniem instalacji elektrycznej. Źródło ognia było zlokalizowane przy stropie, w okolicach północnej ściany zewnętrznej. Całkowitemu spaleni uległo pokrycie i drewniana więźba dachowa północnej nawy

bocznej (rys. 4), strop na belkach drewnianych nad pomieszczeniem magazynowym oraz częściowo północna połać dachu nad prezbiterium wraz z jego drewnianym poszyciem. W trakcie prowadzonej akcji gaśniczej zalaniu uległo prezbiterium oraz pomieszczenia magazynu i zakrystii. Stalowe elementy wiązarów kratowych dachu prezbiterium nie nosiły śladów uszkodzeń pożarowych (rys. 5) – brak było widocznych uszkodzeń ochronnych powłok malarskich (spęcherzeń), nie stwierdzono również okopcenia elementów stalowych.

### 4. Analiza wpływu pożaru na konstrukcje dachu

W ramach analizy wpływu ognia i wysokiej temperatury na drewnianą konstrukcję dachu oraz pozostałe elementy konstrukcyjne objętego analizą obiektu sakralnego nie określono scenariusza pożarowego dla budynku kościoła, w oparciu o zalecenia zamieszczone w [33], nie określono również przybliżonego (równoważnego) modelu konstrukcji, jaki był obciążony pożarem.

Jednak bez szczegółowej analizy, na podstawie posiadanego doświadczenia stwierdzono, że w przypadku tego rodzaju pożarów (zdarzeń losowych) temperatura gazów



**Rys. 4.** Widok pogorzeliiska oraz uszkodzonej pożarowo drewnianej konstrukcji zadachowania nad pomieszczeniem nad zakrystią w nawie bocznej kościoła pw. Świętych Apostołów Piotra i Pawła w Gdańsku



**Rys. 5.** Konstrukcja stalowa przekrycia nad prezbiterium w nawie środkowej kościoła pw. Świętych Apostołów Piotra i Pawła w Gdańsku



spalinowych  $\theta_g$  jest funkcją czasu, osiągając w kulminacyjnym momencie pożaru, zgodnie z [33], wartości w poziomie  $\sim 600^\circ\text{C}$ , natomiast docelowa temperatura podczas pożaru może osiągnąć wartość  $\sim 1200^\circ\text{C}$ . Ustalono, że czas trwania pożaru rozwiniętego (właściwego) wynosił  $\sim 40$  min. W przybliżeniu, zgodnie z [16], niezależnie od przyjętego scenariusza pożarowego, temperatura płomieni mogła wynosić wówczas od  $\sim 600$  do  $\sim 1100^\circ\text{C}$ .

Drewniana więźba dachowa nawy bocznej nad zakrytą uległa niemal całkowitemu spalaniu. Po zakończeniu akcji gaśniczej stwierdzono zgliszcząca niemal całkowicie wypalonych elementów oraz fragmenty częściowo spalonych krokwi, słupków, kleszczy oraz mieczy. W trakcie wizji lokalnych na obiekcie wykonano inwentaryzację i odkrywkę sprawdzającą stan uszkodzonych elementów.

Na podstawie wykonanych obliczeń sprawdzających (dla rzeczywistych, osłabionych pożarem przekrojów istniejących elementów) stwierdzono, że elementy drewnianego więzara dachowego, po oczyszczeniu (usunięciu nagaru) nie są w stanie przenieść prognozowanych obciążeń wynikających z odbudowy uszkodzonej połaci dachowej, konieczne było zaprojektowanie nowej konstrukcji drewnianego dachu nad nawą boczną [1, 2, 7, 12, 17, 19–21, 28–30, 32]. Ubytki przekroju (grubość tzw. nagaru) wynosiły od 1 do 3 cm po obwodzie przekroju.

W wyniku pożaru częściowemu uszkodzeniu uległ strop na belkach drewnianych pomieszczenia nad zakrytą. Wypaleni uległy deski podłogi, ślepego pułapu oraz podsufitki. Podczas prowadzonej akcji gaśniczej strop został zalany wodą. Uszkodzony fragment stropu kwalifikował się bezwzględnie do wymiany, natomiast zalane elementy należało osuszyć i po zdemontowaniu warstw obudowy, w tym zawilgoczonej posadzki, poddać ponownym oględzinom. Na podstawie wykonanych sprawdzających obliczeń statyczno-wytrzymałościowych ustalono, że w stanie istniejącym drewniane belki stropowe nie wymagają wzmocnienia dla prognozowanych obciążeń wynikających z dotychczasowego sposobu użytkowania pomieszczeń poddasza [7, 12, 21].

W trakcie pożaru elementy metalowe wystawione na działanie wysokiej temperatury są ogrzewane, a w trakcie prowadzenia akcji gaśniczej przy polewaniu zimną wodą doznają

nagłego schłodzenia, tzw. szoku termicznego. W efekcie zmienia się struktura stali i jej parametry wytrzymałościowe. Stal staje się krucha i podatna na pękanie. Zmiany struktury stali wpływają na nośność i wytrzymałość stalowych elementów konstrukcyjnych [33].

W przypadku stalowych, kratowych więzarów dachowych, zamontowanych na dachu prezbiterium kościoła, temperatura gazów w trakcie pożaru nie spowodowała zmiany geometrii dźwigarów (wyboczenia lub zwichrzenia elementów), jak również nie zmieniła struktury samego metalu. Wykonane badania laboratoryjne (zglądy) próbek pobranych z konstrukcji nie wykazały zmian struktury stali charakterystycznej dla pożarów (rys. 6). W analizowanych próbkach stwierdzono występowanie drobnoziarnistej struktury ferrytyczno-perlitycznej, charakterystycznej dla stali niskowęglowych. Widoczne na rysunku 6 pasmowe ułożenie ferrytu jest charakterystyczne dla wyrobów walcowanych. Na badanych próbkach nie zaobserwowano zmian struktury materiału pod wpływem oddziaływania temperatury.

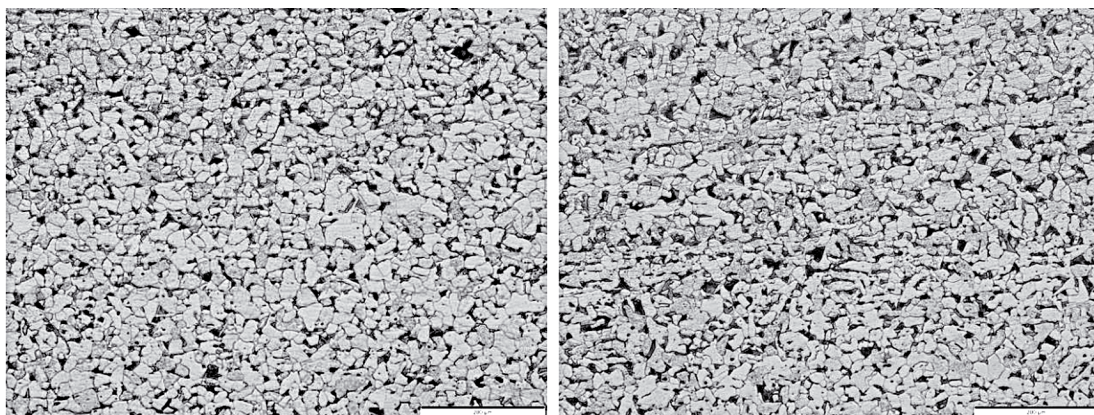
Na podstawie wykonanych sprawdzających obliczeń statyczno-wytrzymałościowych [31] ustalono, że po pożarze stalowa konstrukcja przekrycia dachu nad prezbiterium nie wymaga wzmocnienia dla obciążenia wynikającego z odbudowy dachu.

Mury budynku w obrębie pogorzeliska były mokre, nie stwierdzono charakterystycznych uszkodzeń wywołanych długotrwałym działaniem wysokiej temperatury, tzn. brak było widocznych ubytków zaprawy oraz fragmentów cegieł, tzw. wyżarzenia murów. W trakcie prowadzonej akcji gaśniczej ściany były intensywnie polewane wodą i uległy znacznemu zawilgoceniu [8]. Mury kwalifikowały się do osuszenia oraz lokalnej naprawy uwzględniającej aspekt konserwatorski (obejmującej uzupełnienie lokalnych ubytków cegieł i zaprawy). W okresie wstępnej diagnostyki budynku kościoła, bezpośrednio po pożarze, mury były mokre, dlatego zrezygnowano w tym okresie z wykonania pomiarów ich wilgotności. Zalecono jednak, aby przed podjęciem prac konserwatorskich zostały wykonane dodatkowe pomiary stopnia ich zawilgocenia.

Ze względu na zabytkowy charakter obiektu pomiary wilgotności murów zalecono do przeprowadzenia dwutorowo:

**Rys. 6.**

Mikrostruktura stali w próbce połowej pobranej z płaty dźwigara dachowego nad nawą główną (prezbiterium)



poprzez pomiar wilgotności objętościowej  $U_v$  oraz poprzez pomiar wilgotności masowej  $U_m$ .

Wilgotność objętościowa materiału  $U_v$  jest to stosunek objętości wody zawartej w badanej próbce materiału do całkowitej objętości tej próbki. Pomiary wilgotności objętościowej  $U_v$  można wykonywać za pomocą wilgotnościomierza elektronicznego, którego działanie jest oparte na metodzie elektrooporowej (rezystancyjnej) lub pojemnościowej, czyli pomiarze zmian rezystancji materiału lub pomiarze zmian pola elektrycznego w materiale dla różnych poziomów jego wilgotności.

Wilgotność masowa materiału (bezwzględna)  $U_m$  jest zdefiniowana jako stosunek masy wody zawartej w próbce materiału do masy próbki w stanie suchym (wysuszonego w temperaturze 105°C do stałej masy). Można ją określić np. metodą karbidową lub suszarkowo-wagową polegającą na wysuszeniu materiału do stałej masy i oznaczeniu ubytku masy w trakcie procesu suszenia. Jest to najbardziej rozpowszechniona metoda często stosowana jako metoda odniesienia do kalibracji i sprawdzania innych metod pomiarowych.

Z uwagi na zastosowane metody pomiarowe wyniki wilgotności objętościowej  $U_v$  dotyczyłyby przypowierzchniowej warstwy badanego elementu i miałyby charakter przybliżony, natomiast wyniki wilgotności masowej  $U_m$  dotyczyłyby całej ilości materiału w pobranych do badań próbkach, będąc wynikami dokładnymi [8].

## 5. Naprawa dachu w aspekcie uszkodzeń pożarowych

Ze względu na zakres występujących uszkodzeń roboty budowlane zalecono przeprowadzić w następującej kolejności:

- w zakresie nawy bocznej:
  - usunąć gruz oraz oczyścić pogorzelsko ze stropu poddasza (strop na belkach drewnianych nad помещением nad zakrystią);
  - zdemontować nadpalone elementy drewnianej więźby dachowej nad nawą boczną,
  - zdemontować warstwy wykończeniowe stropu poddasza nad zakrystią (podsufitkę, deski podłogi oraz usunąć wypełnienie z polepy);
  - odtworzyć strop nad помещением nad zakrystią, z opcją wykorzystania istniejących belek drewnianych w poziomie nad помещением nad zakrystią. Wykorzystanie drewnianych belek stropowych będzie możliwe po ich oczyszczeniu, odkażeniu, wysuszeniu i zakonserwowaniu. Drewniane belki stropowe należało osuszyć metodą naturalną, poprzez przewietrzanie. W przypadku stwierdzenia podczas trzykrotnego, w odstępach dobowych, stałego poziomu zawilgocenia odpowiadającego przypadkowi materiału w stanie powietrzno-suchym (12–18%) proces osuszania należy uznać za zakończony. Kontrolne pomiary stopnia zawilgocenia muru

należy przeprowadzić poprzez pomiar wilgotności objętościowej  $U_v$  (pomiar wilgotnościomierzem metodą elektrooporową w strefie przypowierzchniowej) oraz wilgotności masowej  $U_m$  (pomiar z zastosowaniem metody suszarkowo-wagowej na pobranych próbkach);

- odtworzyć drewnianą więźbę dachową w części nad zakrystią wraz z poszyciem;
  - w zakresie nawy środkowej:
    - odtworzyć ochronne powłoki malarskie stalowych elementów kratowych więźarów dachowych nad prezbiterium. Elementy stalowe zaleca się oczyścić do stopnia czystości (przygotowania powierzchni) Sa2,5 oraz zabezpieczyć antykorozyjnie ochronnymi powłokami malarskimi w układzie: warstwa podkładowa + warstwa wierzchniego krycia;
    - odtworzyć części drewnianego poszycia (deskowania) lewej połaci dachowej dachu nad nawą środkową prezbiterium wraz z wiatroizolacją oraz pokryciem z dachówki.

Ponadto:

- podczas prac remontowych dachu nad prezbiterium oraz zadania nad zakrystią należy dążyć do osuszenia zalanych podczas akcji gaśniczej murów. Mury należy osuszyć metodą naturalną, poprzez przewietrzanie. Gdy w trakcie kontroli wilgotności murów zostanie stwierdzony (podczas trzykrotnego pomiaru, w odstępach dobowych) stały poziom zawilgocenia, odpowiadający materiałowi w stanie suchym – proces osuszania można uznać za zakończony. Kontrolne pomiary stopnia zawilgocenia muru należy przeprowadzić poprzez pomiar wilgotności objętościowej  $U_v$  oraz wilgotności masowej  $U_m$ .

## 6. Podsumowanie

Usuwanie uszkodzeń pożarowych jest zagadnieniem trudnym organizacyjnie oraz wymagającym zaangażowania znacznych środków finansowych. Pożary w obiektach użytkowych, w szczególności sakralnych, skutkują koniecznością prowadzenia prac związanych z odbudową uszkodzonych elementów, zarówno konstrukcyjnych, jak również wykończeniowych, z uwzględnieniem uwarunkowań konserwatorskich, co stanowi dodatkową trudność i wymaga wiedzy specjalistycznej, zarówno na etapie prac projektowych, jak również na etapie wykonawstwa.

W przypadku kościoła pw. Świętych Apostołów Piotra i Pawła uszkodzony pożarowo dach nawy bocznej północnej wymagał całkowitej odbudowy, natomiast konstrukcja stalowa nawy środkowej nie uległa uszkodzenia w wyniku pożaru, niezbędna okazała się jednak odbudowa poszycia dachowego.

Zakres uszkodzeń wywołanych działaniem ognia, wysokiej temperatury oraz gazów był niewielki w stosunku do uszkodzeń wywołanych prowadzoną akcją gaśniczą. W wyniku zalania wodą uszkodzeniu uległy drewniane elementy stropów międzykondygnacyjnych oraz mury ścian budynku kościoła.

## BIBLIOGRAFIA

- [1] Bajno D., Utrzymanie i naprawy dachów oraz stropodachów, XXX Ogólnopolska Konferencja Warsztat Pracy Projektanta Konstrukcji WPPK-2015, Szczyrk, 2015
- [2] Bajno D., Współczesne rozwiązania więźb dachowych i dachów płaskich, XXXIV Ogólnopolska Konferencja Warsztat Pracy Projektanta Konstrukcji WPPK-2019, Szczyrk, 2019
- [3] Baranowski W., Zużycie obiektów budowlanych, Wydawnictwo Warszawskiego Centrum Postępu Techniczno-Organizacyjnego Budownictwa, Ośrodek Szkolenia WACETOB sp. z o.o., Warszawa, 2000
- [4] Broł J., Kubica J., Dawczyński Sz., Stan przedawaryjny przekrycia dachowego z drewnianymi dźwigarami wieszarowymi zabudowanymi w hali z początku XX wieku, XXIV Konferencja Naukowo-Techniczna Awarie Budowlane – 2009, str. 155–166, Szczecin – Międzyzdroje, 2009
- [5] Godycki-Ćwirko T., Wojdak R., Rekonstrukcja dachu kościoła Św. Katarzyna w Gdańsku, Czasopismo Techniczne, 2-B, 9, 106, str. 73–83, Kraków, 2009
- [6] Halicka A., Ocena istniejących konstrukcji budowlanych według normy ISO 13822-2010, V Ogólnopolska Konferencja Problemy techniczno-prawne utrzymania obiektów budowlanych, Warszawa, 2019
- [7] Hebda L., Drewno konstrukcyjne zgodnie z EC-5 i krajowymi uwarunkowaniami, XXXIV Ogólnopolska Konferencja Warsztat Pracy Projektanta Konstrukcji WPPK-2019, Szczyrk, 2019
- [8] Hoła J., Matkowski Z., Wybrane problemy dotyczące zabezpieczeń przeciwwilgociowych ścian w istniejących obiektach murowanych, XXIV Konferencja Naukowo-Techniczna Awarie Budowlane – 2009, str. 73–92, Szczecin – Międzyzdroje, 2009
- [9] Hulimka J., Sękowski J., Stan techniczny i remont szesnastowiecznej dzwonnicy drewnianej, XXIV Konferencja Naukowo-Techniczna Awarie Budowlane – 2009, str. 185–194, Szczecin – Międzyzdroje, 2009
- [10] Janowski Z., Janowski M., Awaria zabytkowej hali oraz problemy związane z jej rekonstrukcją, XXV Konferencja Naukowo-Techniczna Awarie Budowlane – 2011, str. 427–436, Szczecin – Międzyzdroje, 2011
- [11] Kornecki M., Spalony kościół drewniany na Woli Justowskiej w Krakowie: problemy konserwatorskie, Ochrona Zabytków, 32 (1), 124, 1979, str. 35–42, Warszawa
- [12] Kotwica J., Konstrukcje drewniane w budownictwie tradycyjnym, Wydawnictwo Arkady, Warszawa, 2005
- [13] Lewicki B., Woźniak K., Ustroje i roboty budowlane, Państwowe Wydawnictwo Szkół Zawodowych, Warszawa, 1965
- [14] Masłowski E., Spiżewska D., Wzmacnianie konstrukcji budowlanych, Wydawnictwo Arkady, Warszawa, 2000
- [15] Maślak M., Tkaczyk A., Ocena stanu bezpieczeństwa stalowej konstrukcji nośnej hali po pożarze, XXV Konferencja Naukowo-Techniczna Awarie Budowlane – 2011, Szczecin – Międzyzdroje, 2011
- [16] Michałek J., Wysocki J., Nośność konstrukcji sprężonych a bezpieczeństwo pożarowe, Przegląd Budowlany, Warszawa, 7–8/1995, str. 42–49
- [17] Mielczarek Z., Budownictwo drewniane, Wydawnictwo Arkady, Warszawa, 1994
- [18] Mitzel A., Stachurski W., Suwalski J., Awarie konstrukcji betonowych i murowych, Wydawnictwo Arkady, Warszawa, 1982
- [19] Neuhaus H., Budownictwo drewniane, Polskie Wydawnictwo Techniczne, 2004
- [20] Nitka W., Warunki techniczne wykonania i odbioru robót, Wydawnictwo Stowarzyszenia Dom Drewniany, Gdańsk, 2015
- [21] Nożyński W., Przykłady obliczeń konstrukcji budowlanych z drewna, wydanie drugie zmienione, Wydawnictwa Szkolne i Pedagogiczne, Warszawa, 1994
- [22] Nowogońska B., Przyczyny stanu przedawaryjnego XVII-wiecznego kościoła drewnianego, XXIV Konferencja Naukowo-Techniczna Awarie Budowlane – 2009, str. 217–225, Szczecin – Międzyzdroje, 2009
- [23] Praca zbiorowa: Trwałość i skuteczność napraw obiektów budowlanych, Dolnośląskie Wydawnictwo Edukacyjne, Wrocław, 2007
- [24] Rokiel M., Renowacje obiektów budowlanych. Projektowanie i warunki techniczne wykonania i odbioru robót, Wydawnictwo Medium, Warszawa, 2014
- [25] Srokowski W., Studia nad metodą określania stopnia zużycia technicznego budynków mieszkalnych, Wydawnictwo Instytutu Gospodarki Mieszkaniowej, Warszawa, 1971
- [26] Substyk M., Utrzymanie i kontrola okresowa obiektów budowlanych, Wydawnictwo ODDK, Warszawa, 2012
- [27] Wałach D., Jaskowska-Lemańska J., Dybeł P., Analiza przyczyn powstania uszkodzeń kościoła pod wezwaniem Podwyższenia Krzyża Świętego w Podlegórzcu, XXIV Konferencja Naukowo-Techniczna Awarie Budowlane – 2009, str. 239–248, Szczecin – Międzyzdroje, 2009
- [28] PN-EN 1991-1-1: Oddziaływania na konstrukcję. Część 1-1: Oddziaływania ogólne. Ciężar objętościowy, ciężar własny, obciążenia użytkowe w budynkach
- [29] PN-EN 1991-1-3: Oddziaływania na konstrukcje. Część 1-3: Oddziaływania ogólne – obciążenie śniegiem
- [30] PN-EN 1991-1-4: Oddziaływania na konstrukcje. Część 1-4: Oddziaływania ogólne – oddziaływania wiatru
- [31] PN-EN 1993-1-1: Projektowanie konstrukcji stalowych. Część 1-1: Reguły ogólne i reguły dla budynków
- [32] PN-EN 1995-1-1: Projektowanie konstrukcji drewnianych. Część 1-1: Postanowienia ogólne i reguły dotyczące budynków
- [33] PN-EN 1991-1-2:2006: Oddziaływania na konstrukcje. Część 1-2: Oddziaływania ogólne. Oddziaływania na konstrukcje w warunkach pożaru