

Czesław Miedziałowski*, Jarosław Malesza**, Marcin Szkobodziński***

Interakcja konstrukcji więźby dachowej z układem ścian i przypór w zabytkowym obiekcie sakralnym

Structural interaction of tower with walls and flying buttress system in historic church

Słowa kluczowe: budowla zabytkowa, kościół neogotycki, konstrukcja drewniana dachu, ściany murowane, analizy MES

Key words: historic building, new-gothic church, timber roof, masonry walls, FEM analysis

1. WSTĘP

Zabytkowe obiekty sakralne charakteryzujące się układem nawowym budowane były z kamiennymi lub ceglanyimi fundamentami i ścianami, ceglanyimi sklepieniami oraz drewnianymi więźbami dachowymi [1, 2]. Nie wykonywano wieńców i innych usztywnień konstrukcji z zastosowaniem zbrojonego betonu. Funkcję tę realizowano częściowo za pomocą ściągów drewnianych i ewentualnie poprzez kotwienie w ścianach belek stropowych i elementów więźby dachowej, a także stosowanie przypór ściennych. Jedynie w kołowych kształtach wież oraz kopuł stosowano do więźb dachowych drewniane wieńce – pierścienie [3, 4, 5].

Wieloletnie użytkowanie, korozja materiałów oraz oddziaływanie zmiennych wpływów atmosferycznych (zmienne temperatury i wilgotność) oraz obciążeń, a niekiedy oddziaływań dynamicznych (drżania, wybuchy), powoduje pojawienie się uszkodzeń i degradację konstrukcji. Uwidacznia się to w formie rozluźnienia konstrukcji (węzłów, podpór, przypór), rys, pęknięć i nadmiernych deformacji konstrukcji [6]. Czasem dodatkowym czynnikiem powodującym przyspieszoną degradację konstrukcji są zbyt duże wyężenia elementów konstrukcyjnych, błędy projektowe i wykonawcze, a także nieodpowiednia eksploatacja i niedbała konserwacja [7].

1. INTRODUCTION

Historic religion buildings have system of nave construction of masonry vaults system supported on the masonry or stone walls set on stone or masonry foundations and covered with timber high roof structures [1, 2]. Former walls were not ended with ties or any other reinforced concrete bracings. Timber ties and floor timber beams anchored in masonry walls were provided in the structure as the bracing system. Also buttressing walls were constructed providing stability system in the building. Circular shape of timber towers and domes were based on ring timber ties [3, 4, 5].

Long term exploitation, material corrosion, influence of varying environmental conditions like varying temperature and moisture as well as loadings and very often dynamic loading in the form of vibrations and explosions are bringing structure to failure and degradation of structure. These failures in the form of slackened structural connections and joints, supports and buttresses, cracks and local failures are leading structure to excessive deformations [6]. In result of excessive deformations structure undergoes hasten degradation when escalated stressing, design and construction errors in strengthening or repairs or inadequate exploitation and maintenance are increasing this process of technical life [7].

* prof. dr hab. inż., Politechnika Białostocka

** dr inż., Politechnika Białostocka

*** mgr inż., Politechnika Białostocka

* Professor, Białystok University of Technology

** PhD, Białystok University of Technology

*** MSc, Białystok University of Technology

Cytowanie / Citation: Miedziałowski C., Malesza J., Szkobodziński J. Structural interaction of tower with walls and flying buttress system in historic church. *Wiadomości Konserwatorskie – Journal of Heritage Conservation* 2016;46:76-86

Otrzymano / Received: 10.12.2015 • **Zaakceptowano / Accepted:** 10.01.2016

doi:10.17425/WK45BUTTRES

Praca dopuszczona do druku po recenzjach

Article accepted for publishing after reviews

W pracy zostanie omówiony stan techniczny zabawkowego obiektu oraz statyka konstrukcji w aspekcie interakcji więźby dachowej i układu ścian oraz przypór ściennych. Wyniki analiz zostaną podane w formie parametrów odkształceniowo-naprężeniowych oraz propozycji napraw i wzmocnienia konstrukcji.

2. OPIS BUDYNKU

Jest to budynek kościoła, którego główną bryłę wzniesiono w latach 1900–1905 według projektu Józefa Piusa Dziekońskiego w stylu tzw. neogotyku nadwiślańskiego [2]. Kościół położony jest w śródmieściu Białegostoku, w północno-wschodniej części Rynku Kościuszki u zbiegu ulic Kościelnej i Kilińskiego (obecnie plac Jana Pawła II). Usytuowany jest na osi ulicy między XVII-wiecznym barokowym kościółkiem, przylegającym od strony zachodniej, a dawną plebanią od strony wschodniej (obecnie rezydencja arcybiskupa), ustawioną do niego pod kątem 25°.

Wnętrze jest trzynawowe, z jedną nawą wyższą i dwiema niższymi. Nawy podzielono na pięć poprzecznych przęseł oraz wydatny transept. Za transeptem, na osi nawy środkowej ulokowano dwuprzęsłowe prezbiterium zakończone trójbocznie. Obok prezbiterium znajduje się kaplica i zakrystia. Na wejściu do budynku, w formie szóstego przęsła, zlokalizowano dwie strzeliste, ażurowe wieże [8, 9]. Ogólny widok budynku kościoła przedstawiono na ryc. 1.

Przekrycia naw wykonano jako sklepienia krzyżowe, natomiast na skrzyżowaniu nawy głównej i transeptu wykonane jest sklepienie gwiazdiste, a nad chórem kryształowe.

Powierzchnie podniebne sklepień powstały z tzw. kozub-żagielek, tj. części przenikających się walców kolistych i eliptycznych, których ograniczeniem są obwodnice walców ustawione pionowo nad bokami przylegającego kwadratu, lub wielokąta oraz krawędzie wzajemnego przenikania się walców. Wszystkie kozuby przenikają się we wspólnym wierzchołku [10]. Rzuty kozub są trójkątami.

Obciążenia pionowe z kozub oraz siły rozporowe przekazywane są na wierzchołki przykrywanego kwa-

Paper also presents technical state of historic building and static analysis of timber roof structure in aspect of interaction of the queen-post roof with masonry buttressed wall system. Results of analysis are presented in the form of stress-strain parameters and proposals of repairs and strengthening of structure.

2. DESCRIPTION OF BUILDING

Roman Catholic church was constructed within 1900–1905 according to architect Jozef Pius Dziekon-ski's design. Church represents the New-Gothic so called the Vistula-Baltic architecture style [2] and it is allocated in the town center of Bialystok North-Eastern part of Poland, at the John Paul II's square. Church was constructed between XVII century baroque old church and former presbytery where actually is the archbishop residence.

Three-naves interior with higher the central and two lower naves aside create the main part of church. Naves are divided into five transverse spans and the exposed transept. Two span presbytery is allocated at the axis of central nave behind the transept. The chapel and vestry are at the presbytery. At the entrance to church in the form of the sixth span two openwork towers are allocated [8, 9]. General view of the church is presented in fig. 1.

All naves are covered with the cross vaults and the lierne vault was constructed over the crossing of central nave and transept. The crystal vault is constructed over the chorus.

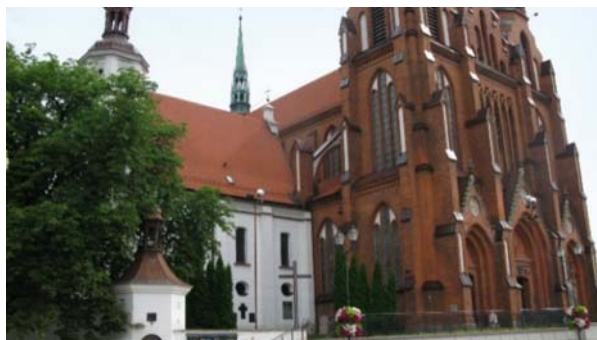
Cricket-squinch arches create vault intrados in result of entering parts of circle or elliptic cylinder. These cricket-squinch arches are coming to one common point [10]. Vertical load from the cricket-squinch arches and the thrust force from the vaults are acting on the vertexes of covered square or polygon. At the line of connected crickets is created the spatial self-bearing system in the form of ribs supported on columns and piers. The ribs of vaults are tightened on the top with masonry vertex underlined with roller and cavetto with plant carved capitals.

Interiors are partly covered with plaster, floor finishes in black and white ceramic tiles.

a)



b)



Ryc. 1. Ogólny widok budynku kościoła: a) od strony kompletnych przypór, b) od strony barokowego kościółka, gdzie brak jednej przypory
Fig. 1. General view of the church: a) at the side of complete buttresses b) at the side of baroque church where one buttress has not been constructed

dratu lub wielokąta. Na połączeniu dwóch stykających się kozub występuje samodzielny układ samonośny w postaci żeber wspartych na filarach i kolumnach. Zebra sklepień spięte zostały górną ceglanyimi zwornikami, podkreślone wałkami wklęsłą, przechodzące w służki i wiązki służek, z roślinnymi kapitelami. Wnętrze częściowo tynkowane, posadzka z dwukolorowej czarno-białej terakoty.

Ponad dachy naw bocznych wyprowadzone są łuki przyporowe ścian nawy środkowej w osi wewnętrznych filarów. Łuki pełnią rolę konstrukcyjną i estetyczną. Przenoszą siły rozporu z nawy środkowej poprzez wieżyczki, pilastry i przypory na fundament. Łuku przyporowego nie wykonano tylko na osi starego kościoła „białego”. Budynek przykryty jest stromym dachem dwuspadowym z koszami na skrzyżowaniu nawy głównej i transeptu oraz przy wieżach. Na skrzyżowaniu nawy głównej z transeptem znajduje się smukła sygnaturka.

Główne wymiary budynku kościoła są następujące:

- całkowita długość 68 m,
- szerokość trzech naw 28 m,
- wysokość nawy głównej 23 m,
- wysokość wież 72 m.

Widok więźby dachowej przedstawiono na ryc. 2, a konstrukcję w przekroju poprzecznym pokazano na ryc. 3.

Konstrukcja budynku kościoła jest murowana, bez podpiwniczenia. Fundamenty wykonano z kamienia, a cokół z granitowych prostopadłościennych bloków. Zewnętrzne ściany nośne oraz filary wewnętrzne wykonano z cegły ceramicznej, w tym w wielu fragmentach z odpowiednio profilowanej.

3. OPIS KONSTRUKCJI I JEJ STANU TECHNICZNEGO

3.1. Konstrukcja więźby dachowej

Więźba dachowa w kościele pw. Wniebowzięcia NMP ma konstrukcję mieszaną: nad nawą główną jest typu wieszarowego, natomiast nad nawami bocznymi – płatwiowo-stolcowa (ze ścianką stolcową pochyloną).

Konstrukcja dachu drewniana nad nawą główną, dwupoziomowa, typu wieszarowego. Na dolnych belkach-ściągach ułożona jest podłoga. Pokrycie obecnie wykonane jest z ceramicznej dachówki zakładkowej.

Konstrukcja więźby składa się z wiązarów pełnych i pośrednich. W więźbie dachowej zastosowano wieszary o trzech wieszakach (niektórzy autorzy tego typu wieszary określają jako dwupoziomowe). Wieszary o trzech wieszakach składają się z trzech słupów (w tym jeden górny), czterech zastrzałów, belki wiązarowej i poziomej belki między nimi, tzw. rozpory (pracującej na ściskanie).

Wymiary nominalne poszczególnych elementów konstrukcyjnych są następujące: krokwie 14 × 17,5 cm, słupki 22 × 22 cm, płatwie górne 22,5 × 22,5 cm, płatwie stopowe 2 × 22 × 23 cm, tram 22 × 27 cm.

Flying buttress of central nave walls along the axis of interior piers were constructed above the roofs of side naves. These arches fulfill structural and esthetic-architecture role in building. They are transmitting thrust force of central nave arches through the towers, piers and buttresses to the foundations. Flying buttress have not been constructed at the axis of the old so called white church.

Church is covered with the high-pitched roof with the valleys at the crossing of central nave and transept, and at the towers. At the crossing of the central nave and the transept is embedded in masonry the slender bell gable.

There are the main dimensions of the church building:

- total length is 68 m,
- the width of three-naves is 28 m,
- the height of the central nave is 23 m,
- the height with the towers is 72 m.

Figure 2 presents general view of timber roof structure and the cross-sections of building and the cross-section through the roof are presented in fig. 3.



Ryc. 2. Widok więźby dachowej nad nawą główną

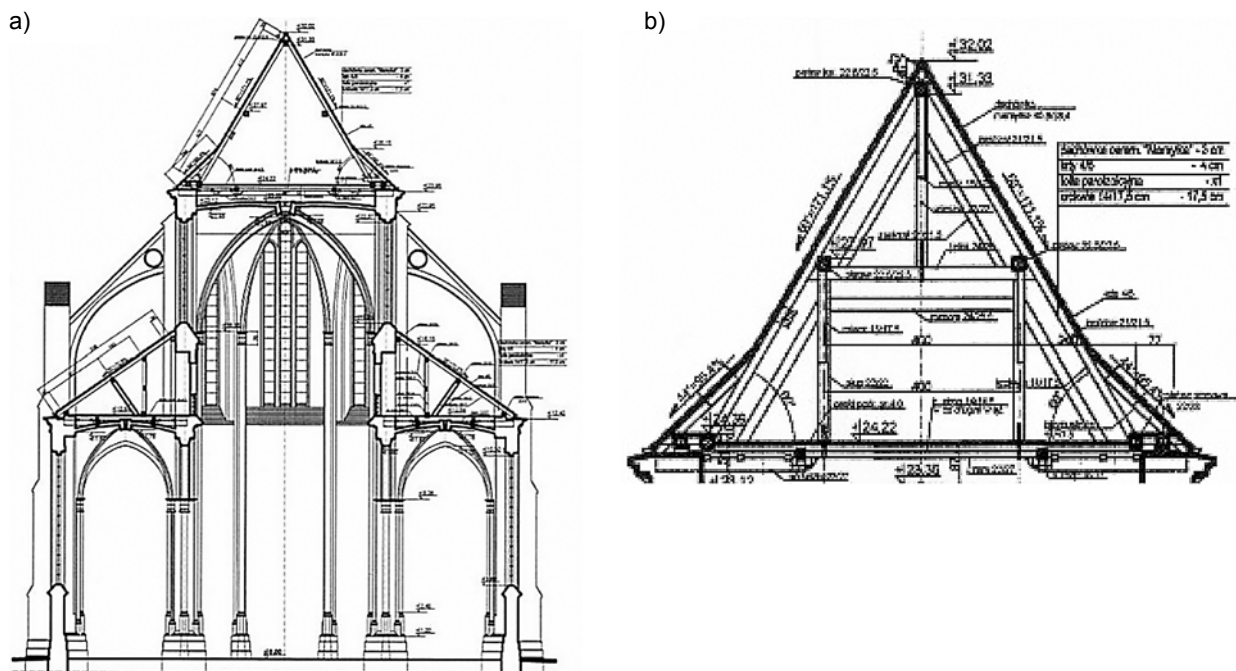
Fig. 2. General view of timber roof structure above the central nave

The church was constructed as the masonry structure without any basement. Stone foundations were constructed with the granite cut-dimension stone zoccolo. Exterior bearing walls and internal bearing piers were constructed as the masonry clay bricks structure in large number of details the profiled clay bricks were used.

3. TECHNICAL CONDITION AND DESCRIPTION OF STRUCTURE

3.1. Roof timber structure

The queen-post roof timber structure above the main nave and the purlin-knee walls above the side naves (with the inclined knee wall) were constructed in the church under name of Assumption of the Blessed Virgin Mary. The queen-post timber roof above the main nave is constructed as the two story structure. This is a kind of couple close roof with



Ryc. 3. Przekrój poprzeczny przez konstrukcję budynku z widoczną więźbą dachową; a) nad nawą środkową dźwigar pośredni, b) nad nawą środkową dźwigar pełny

Fig. 3. Cross-section of the building showing the roof structure, (a) intermediate truss above the nave; (b) main truss above the nave

W rzeczywistości wymiary elementów są zróżnicowane, co jest efektem zastosowania innych elementów oraz ich korozji [10]. Niektóre krokwie są wzmocnione drewnianymi nadbitkami, ryc. 4.

Pod belkami-tramami wiązarów pełnych na oparciach dodano tzw. siodło złączone z belką wiązarową za pomocą klocków dębowych i ześrubowania. Przy okapach wykonano załamanie dachu stosując tzw. przepustnice. Kosze skonstruowano za pomocą krokwi koszowych z nadbitkami i przepustnicami. Nad obydwoma nawami bocznymi znajduje się jednospadowa drewniana więźba dachowa o konstrukcji płatwiowo-stolcowej (ze ścianką stolcową pochyloną). Krokwie – z jednej strony – opierają się poprzez murłatę na ścianach zewnętrznych, z drugiej na ścianach oddzielających nawę główną od naw bocznych. W środku rozpiętości krokwie podparte są płatwią, która z kolei opiera się na pochylonej ścianie stolcowej.

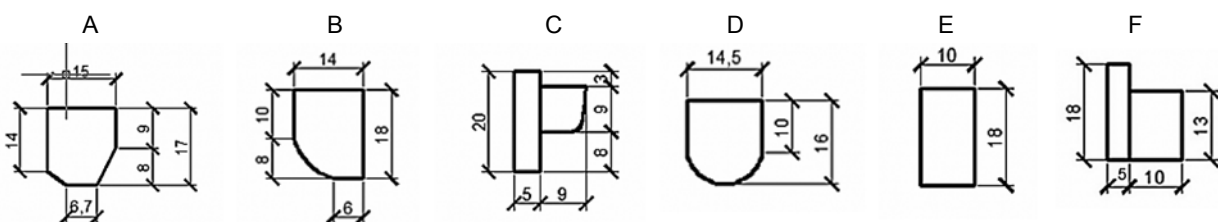
3.2. Zawilgocenia

Podczas przeglądu stanu technicznego budynku kościoła stwierdzono w elementach konstrukcyjnych

suspended ceiling, where on the bottom tie-beams the timber board floor is imbedded. Clay facing tiles cover actually roof.

Timber roof structure consists of the main trusses and intermediate trusses. Three hangers of suspension members trusses (they are called as two story structure) were used in roof. Suspension trusses contain three posts (with one the top post), four inclined bracings, truss beam and compressed the straining sill – horizontal beam between them. Nominal dimensions of the structural roof elements were measured: rafters 14×17.5 cm, posts 22×22 cm, upper purlin 22×22.5 cm, pole plate $2 \times 22 \times 23$ cm and footing beam 22×27 cm. Dimensions are varying as a result of formerly used different cross-sections of lumber and in result of biological corrosion [10]. Some rafters are strengthened with timber boards as it is shown in figure 4.

The base shoe connected by bolts with the truss beam through the oak key is added below the main truss footing beams. Roof has changed inclination at the overlaps. Valley rafters with added timber boards create the flanks.



Ryc. 4. Przykłady rzeczywistych przekrojów poprzecznych krokwi w więźbie dachowej nad nawą główną

Fig. 4. Examples of real cross – section of rafters in roof trusses construction above the main nave

a)



b)



Ryc. 5. Grzyby domowe w więźbie dachowej: a) widok śladów grzybnii w węźle elementów konstrukcyjnych, b) widok uszkodzonego przez grzyb fragmentu oparcia krokwi

Fig. 5. Fungi disclosed in roof timber structure: a) trace of fungi in joint of structural elements, b) view of destroyed support of rafter from fungi

wilgoć oraz zacieki. Stan taki przyczynia się do rozwoju grzybów domowych oraz brunatny rozkład drewna, ryc. 5.

Zawilgocenia więźby dachowej, ścian i sklepień świadczą o złym stanie obróbek blacharskich, izolacji i pokrycia budynku, wywołują negatywne odczucia estetyczne, a przede wszystkim pogarszają stan techniczny obiektu [11]. Stwierdzono w wielu miejscach uszkodzenia folii dachowej, szczególnie w nawach bocznych, oraz dziury w dachówce spowodowane spadającym ze ścian i wież gruzem.

3.3. Szkodniki drewna

W badanym obiekcie w elementach konstrukcyjnych więźby dachowej nad nawą główną: krokwiach, słupkach, belkach, deskach podłogowych stwierdzono ślady bytności owadów, przeważnie spuszczela. W zdecydowanej większości są to stare ślady po tunelach larw spuszczela.

Z pracy [12] wynika, że w 1968 roku „dokonano gruntownej impregnacji, wzmocniono śrubami więźbę dachową”. Prace te noszą znamiona dezynsekcji drewna.

Na podstawie wizji lokalnej można przypuszczać, że proces ten polegał na ociosaniu zniszczonych przez larwy spuszczela fragmentów bieli drewna i zaimpregnowaniu poprzez malowanie toksycznym preparatem tak przygotowanych elementów. Ociosane (pocienione) krokwie zostały, jak podano wyżej, wzmocnione za pomocą desek.

Przyczyn obecności technicznych szkodników drewna jest kilka:

- zastosowanie niedostatecznie przesuszonego drewna,
- brak odpowiedniego zabezpieczenia drewna (np. przez impregnację),
- stosowanie niewłaściwego drewna [12].

Lean-to timber roof of the purlin-knee walls is built above the both side naves (with the inclined knee wall). Rafters on one side are supported on the rafter plate of the outer masonry walls and on the walls dividing the main and the side naves, on the other side. Rafters are supported on purlins in the span, and purlins are supported on inclined knee wall.

3.2. Moistening

Technical inspection and evaluation of technical state of building discovers moisture and signs of biological corrosion in wood. In figure 5 is show development of wood-rotting fungi and wood-staining fungi, destroying roof timber structure.

Bad technical state of finishing roofing felts, water protecting layers, roof work brought structure to corrosion and evoke negative esthetic filling deteriorating structure and making worse technical state of building [11]. Roofing felt is damaged in many places, especially above the side naves and ceramic roof covering plates were broken in result of fallen corrosive brick rubble from walls and towers.

3.3. Wood insects

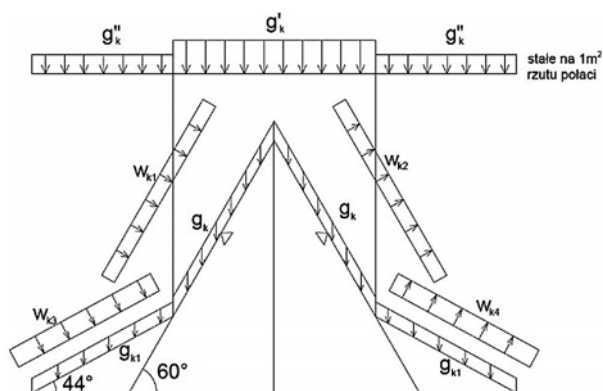
In the roof timber structural elements above the main nave; in rafters, posts, joists and beams, floor boards are harmed by wood insects like old-house borer. Traces indicating presence of wood-worm were disclosed in old structural elements. As it comes from document [12], in 1968 „solid impregnation of wood, strengthening of structure using bolts” were done. This work indicated, that disinfection against wood destroying insects was done

Local vision on site showed, that edges of timber elements harmed by insects were dressed and impreg-

4. SCHEMAT STATYCZNY KONSTRUKCJI

4.1. Obciążenia

Układ obciążeń działających na konstrukcję przedstawiono na ryc. 6 i w tabeli 1.

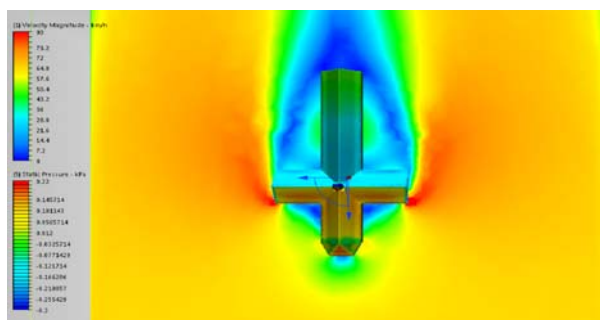


Ryc. 6. Układ obciążeń działających na konstrukcję

Tabela 1. Wartości obciążeń działających na konstrukcję

Obciążenie	Nachylenie dachu	
	$\alpha = 60^\circ$	$\alpha = 44^\circ$
1. stałe	$g_k = 0,64 \text{ kN/m}^2$	
2. zmienne	$g_{k\perp} = 0,32 \text{ kN/m}^2$ $g_{k\parallel} = 0,56 \text{ kN/m}^2$	$g_{k\perp} = 0,46 \text{ kN/m}^2$ $g_{k\parallel} = 0,45 \text{ kN/m}^2$
3. śnieg	$S_{k\perp} = 0,32 \text{ kN/m}^2$ $S_{k\parallel} = 0,56 \text{ kN/m}^2$	$S_{k\perp} = 0,66 \text{ kN/m}^2$ $S_{k\parallel} = 0,64 \text{ kN/m}^2$
4. wiatr	$w_{k\perp}^n = 0,44 \text{ kN/m}^2$ $w_{k\parallel}^o = -0,19 \text{ kN/m}^2$	$w_{k\perp}^n = 0,43 \text{ kN/m}^2$ $w_{k\parallel}^o = 0$

Dodatkowo przeprowadzono komputerową analizę symulacyjną obciążenia konstrukcji dachu wiatrem, co pokazano na ryc. 7.



Ryc. 7. Rozkład prędkości wiatru na kierunku działania równoległym do osi obiektu – widok z góry

Fig. 7. Distribution of wind speed on the direction parallel to the axis of building – aerial view

nated applying toxic preparation. Dressed rafters were strengthened by side nailed timber boards.

There are several reasons appearing of harm insects in wood:

- use of inadequately dried lumber,
- insufficiently protected wood (through impregnation),
- use of improper wood [12].

4. STATIC SCHEME OF STRUCTURE

4.1. Loading

Loading system acting to the structure is shown in fig. 6 and table 1.

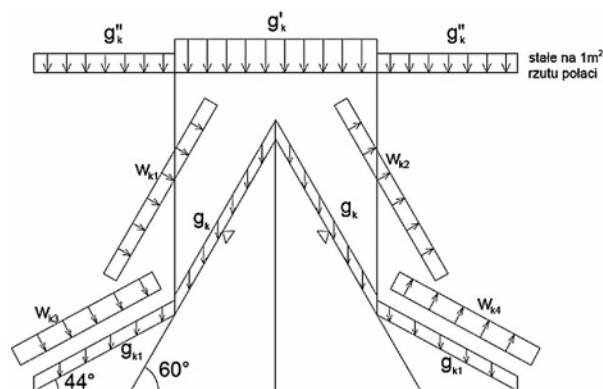


Fig. 6. Diagram of loadings acting on structure

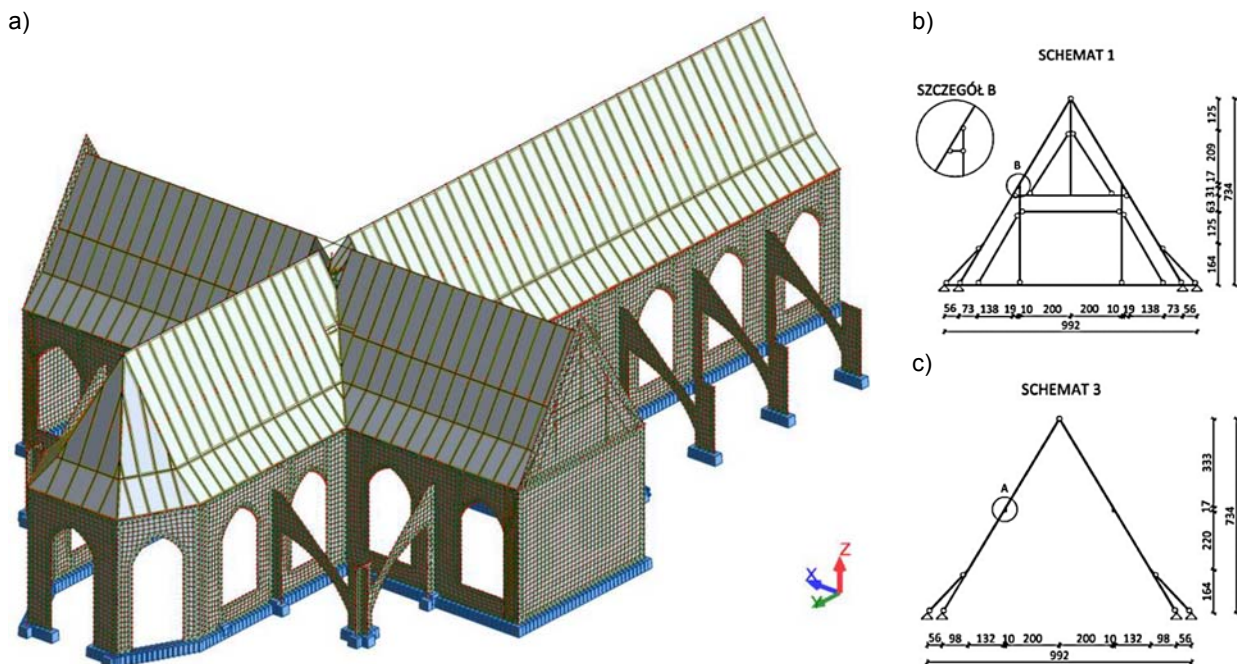
Table 1. The load value acting to the structure

Load	Roofslope	
	$\alpha = 60^\circ$	$\alpha = 44^\circ$
1. dead	$g_k = 0,64 \text{ kN/m}^2$	
2. live	$g_{k\perp} = 0,32 \text{ kN/m}^2$ $g_{k\parallel} = 0,56 \text{ kN/m}^2$	$g_{k\perp} = 0,46 \text{ kN/m}^2$ $g_{k\parallel} = 0,45 \text{ kN/m}^2$
3. snow	$S_{k\perp} = 0,32 \text{ kN/m}^2$ $S_{k\parallel} = 0,56 \text{ kN/m}^2$	$S_{k\perp} = 0,66 \text{ kN/m}^2$ $S_{k\parallel} = 0,64 \text{ kN/m}^2$
4. wind	$w_{k\perp}^n = 0,44 \text{ kN/m}^2$ $w_{k\parallel}^o = -0,19 \text{ kN/m}^2$	$w_{k\perp}^n = 0,43 \text{ kN/m}^2$ $w_{k\parallel}^o = 0$

Numerical (computer) simulation of wind, loading roof structure has been conducted and it is given in fig. 7.

4.2. Static scheme

Analyzed timber structure is supported on the walls of the main nave strengthened by buttress side. Scheme of roof and walls structure is shown in figure 8. Buttress arches supporting walls of central nave are also shown. Wall and buttress is described applying shell elements while the roof structure is described applying the beam elements in three dimensional model – 3D.



Ryc. 8. Model analizy numerycznej analizowanej konstrukcji: a) model konstrukcji, b) i c) schematy statyczne więzarów dachowych
 Fig. 8. Numerical analysis model of church structure: a) model of structure, b) and c) static scheme of roof truss

4.2. Schematy statyczne

Analizowana konstrukcja więzby dachowej opiera się na ścianach nawy głównej, które są wzmocnione przyporami. Schemat konstrukcji przedstawiono na ryc. 8. Widoczne są łuki przyporowe ścian nawy środkowej. Ściany i przypory opisano za pomocą elementów powłokowych, a więzbę dachową za pomocą elementów belkowych w schemacie 3D.

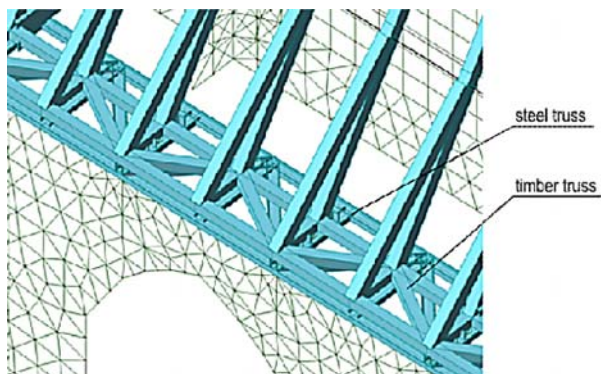
Konstrukcja dachu składa się z dwóch typów więzarów, różnych w swojej budowie, a co za tym idzie, również statycznie pracują w odmienny sposób, tzw. pełne i pośrednie. Przyjęto, że wszystkie elementy konstrukcyjne więzby dachowej są wykonane z drewna konstrukcyjnego klasy C30. Na początku przyjęto wymiary nominalne elementów konstrukcyjnych więzby, a następnie zmniejszono z powodu rozrzutu wymiarów i korozji, wg ryc. 4. Właściwości muru przyjęto jak dla muru z cegły ceramicznej klasy 10 na zaprawie wapiennej marki 2.

Konstrukcja w tym układzie została przeanalizowana w trzech schematach. Pierwszy schemat obejmował oparcie więzarów na płatwiach stopowych podpartych na dźwigarach pełnych. W dalszej kolejności jako drugi schemat została przedstawiona propozycja wzmocnienia konstrukcji w postaci utworzenia z dwóch płatwi stopowych kratownicy poziomej. W tym celu zostały zamodelowane elementy krzyżulców wspomnianej kratownicy jako drewniane pręty o przekroju 10×10 cm i właściwościach materiałowych jak reszta konstrukcji więzby dachowej. Dodatkowo jako trzeci schemat dodano kratownicę stalową w poziomie ściągów więzby dachowej. Model statyczny tych kratownic pokazano na ryc. 9.

Timber roof consists of two kind of varying in types truss structure, so called full and intermediate trusses, differing in static behavior.

All roof structure elements were constructed using timber adequate to actual Standards class C30. At the beginning, the nominal cross-sectional dimensions of timber truss were taken in analysis, and then the dimensions were decreased due to varying dimensions used in real structure and in result of corrosion, as it is shown in fig. 4. Strength characteristics of masonry structure were taken for clay bricks class 10 on mortar class 2.

Structure was analyzed in three different adapted schemes. The first scheme considers support of truss on the pole plate being supported on full trusses system. The second static scheme presents proposal of strengthening of two parallel pole plates creating horizontal truss. Diagonals in this truss were modeled applying timber elements with the cross-sections of 10×10 cm and



Ryc. 9. Model statyczny utworzonych kratownic
 Fig. 9. Static model of truss

5. OBLICZENIA STATYCZNE I ANALIZY

W obliczeniach uwzględniono następujące warianty:

- konstrukcja ze wszystkimi przyporami i nominalne przekroje więźby dachowej,
- konstrukcja bez 1 przypory i z zaniżonymi przekrojami więźby dachowej,
- konstrukcja z kratownicą drewnianą i aktualny stan konstrukcji więźby dachowej,
- konstrukcja z kratownicą drewnianą i stalową i wg stanu konstrukcji jw.

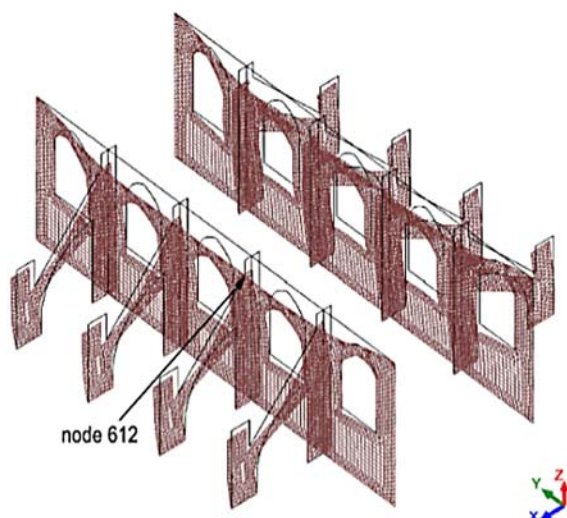
Uzyskane z obliczeń deformacje konstrukcji przedstawiono w tabeli 2 i na ryc. 10.

Tabela 2. Przesunięcia punktu Nr 612 w analizowanych przypadkach

Lp.	Warianty analizy	Przesunięcia [mm]		
		x	y	z
1	Konstrukcja ze wszystkimi przyporami	1,089	0,038	-2,024
2	Konstrukcja bez 1 przypory	2,739	0,033	-2,159
3	Konstrukcja bez 1 przypory ze wzmocnieniem w postaci kratownicy drewnianej	2,692	0,033	-2,161
4	Konstrukcja bez 1 przypory ze wzmocnieniem w postaci kratownicy drewnianej i stalowej	2,423	0,044	-2,162

Mapy rozkładu momentów oraz naprężeń w ścianach przedstawiono na ryc. 11.

a)



strength parameters similar to those from original roof structure. The third taken in analysis, the steel truss at the level of the straining beams of roof structure. Static model of the truss is shown in fig. 9.

5. ANALYSIS OF STRUCTURE

The following stages of structure were taken in analysis:

- roof structure with all buttresses and nominal cross – sections of timber,
- structure without one buttress and diminished dimensions of timber the cross-sections due to influence of corrosion,
- structure with timber truss and actual technical state of roof,
- structure including timber and steel truss, and actual technical state of roof,

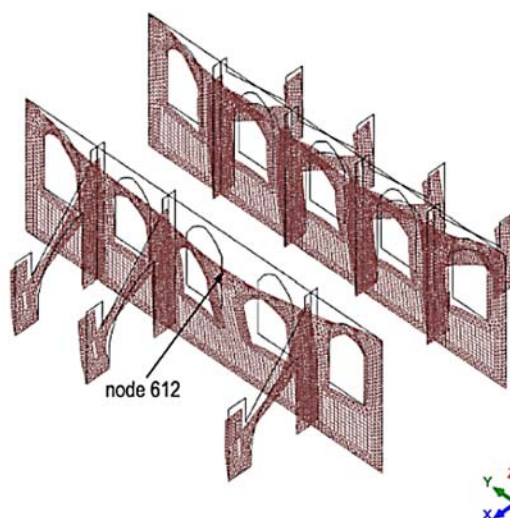
Analysis and numerical computation indicates structure deformations is shown in figure 10 and table 2.

Table 2. Displacements of node 612 in analyzed structures

Item	Stage of analysis	Displacements [mm]		
		x	y	z
1	All buttresses in structure	1,089	0,038	-2,024
2	Structure without one buttress	2,739	0,033	-2,159
3	Structure without one buttress strengthened with timber truss	2,692	0,033	-2,161
4	Structure without one buttress strengthened with timber and steel truss	2,423	0,044	-2,162

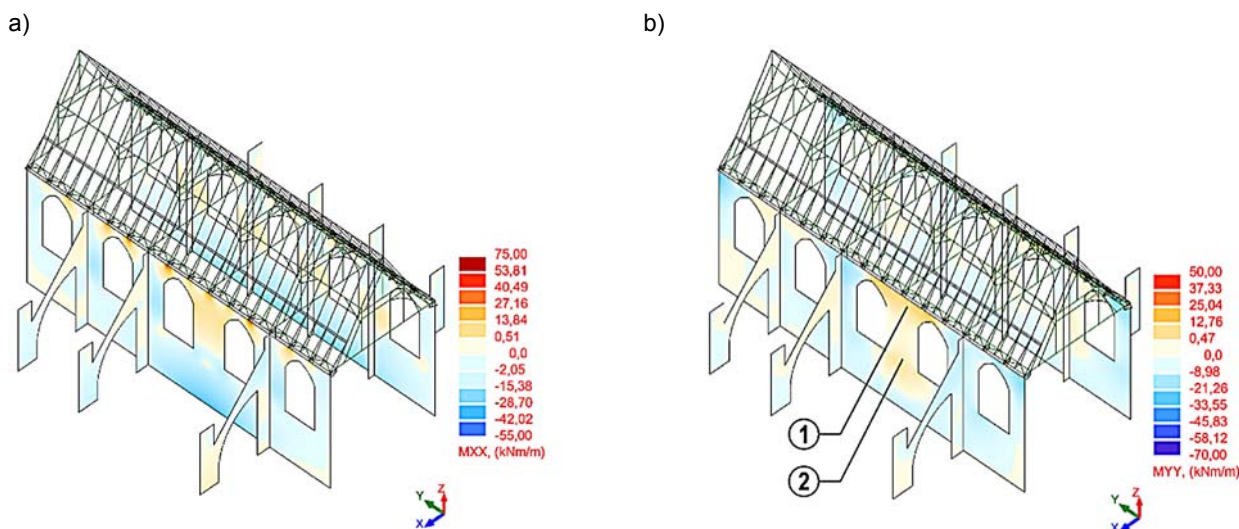
Maps of bending moments distribution and stressing in the walls are shown in fig. 11.

b)



Ryc. 10. Deformacja konstrukcji: a) ze wszystkimi przyporami (bez kratownic), b) bez jednej przypory (bez kratownic)

Fig. 10. Structure deformation: a) with all buttresses (without truss strengthening), b) without one buttress (without truss)



Ryc. 11. Siły wewnętrzne w ścianach przy przyporach: a) mapa momentów M (bez przypory i przekroje wg stanu istniejącego), b) mapa naprężeń (bez przypory i przekroje jw.)

Fig. 11. Internal forces in walls and at the buttressing elements: a) map of bending moments M (without buttress and sections for existing stage), b) map of stressing (without buttress)

Wartości naprężeń w charakterystycznych punktach zamieszczono w tabeli 3.

Values of stressing in characteristic points are marked in table 3.

Tabela 3. Naprężenia w charakterystycznych punktach konstrukcji

Table 3. Stress in characteristic points of structure

Lp.	Warianty analizy	Naprężenia w punktach			
		1 (belka)		2 (filar)	
		σ_x	σ_y	σ_x	σ_y
1	Konstrukcja z wszystkimi przyporami	-0,014/ -0,055	-0,026/ 0,038	-0,511/ -0,568	-0,169/ -0,176
2	Konstrukcja bez 1 przypory	-0,018/ -0,113	-0,100/ 0,122	-0,541/ -0,588	-0,132/ -0,218
3	Konstrukcja bez 1 przypory ze wzmocnieniem w postaci kratownicy drewnianej	-0,019/ -0,112	-0,065/ 0,097	-0,543/ -0,587	-0,131/ -0,218
4	Konstrukcja bez 1 przypory ze wzmocnieniem w postaci kratownicy drewnianej i stalowej	-0,023/ -0,106	-0,028/ 0,071	-0,550/ -0,582	-0,130/ -0,218

item	Stage of analysis	Stressing in points [MPa]			
		1 (beam)		2 (pier)	
		σ_x	σ_y	σ_x	σ_y
1	Allbuttresses in structure	-0,014/ -0,055	-0,026/ 0,038	-0,511/ -0,568	-0,169/ -0,176
2	Structure without one buttress	-0,018/ -0,113	-0,100/ 0,122	-0,541/ -0,588	-0,132/ -0,218
3	Structure without one buttress strengthened with timber truss	-0,019/ -0,112	-0,065/ 0,097	-0,543/ -0,587	-0,131/ -0,218
4	Structure without one buttress strengthened with timber and steel truss	-0,023/ -0,106	-0,028/ 0,071	-0,550/ -0,582	-0,130/ -0,218

6. PODSUMOWANIE

Budynki zabytkowe po wieloletniej eksploatacji cechują się degradacją materiałów i różnymi uszkodzeniami elementów konstrukcyjnych. Dodatkowym czynnikiem pogarszającym stan techniczny konstrukcji

6. CONCLUSIONS

In result of long-time exploitation historical buildings represent significant degree of material degradation with varying failure of structural elements. Low care in maintenance and rarely conducted processes

jest mała dbałość o bieżącą konserwację i remonty. Szczególnie niekorzystne są zacieki wody, brak wentylacji i pleśń oraz szkodniki biologiczne niszczące materiały. Dodatkowym niekorzystnym czynnikiem jest brak w konstrukcji tego typu obiektów wieńców, belek usztywniających, ściągow itp. elementów usztywniających i integrujących obiekt. Staje się on bardziej podatnym na zmienne obciążenie, wahań temperatury, drgania czy degradację materiałów i konstrukcji.

Innym niekorzystnym czynnikiem zmniejszającym zdolność konstrukcji do prawidłowej pracy statycznej są błędy czy braki konstrukcyjne. W rozważanym przypadku brak jednej z przypór powoduje w tym miejscu istotne powiększenie przemieszczeń i sił wewnętrznych nawet o 151%. Naprawy i wzmocnienia mogą polegać na zastosowaniu dodatkowych ściągow, belek czy kratownic, jak to pokazano w tym przypadku, które istotnie usztywniają konstrukcję i wyrównują stan przemieszczeniowo-naprężeniowy.

of repairs and improper conservations, remain an additional factor influencing technical state of building. Leakage in roof covers, insufficient and inadequate ventilation, mildew, fungi and insects destroys biologically material and its structure. Inadequate bracing system, lack of structure tie system, lack of stiffening beams and anchoring elements and lack of the other integrating structural system elements, create hazard for behavior of structure. Structural system becomes more deformable on variable loading, changing temperature, vibrations and material degradation.

Errors and structure mistakes remain the other unfavorable factors decreasing response of structure for correct static work. In case of considered church evident lack of one wall buttress cause significant increase of displacements and internal forces, even on 151%. Repair and strengthening can be done in applying additional tie system, beams or trusses bracing and stiffening structure and they are stabilizing and equalizing stress-strain state, as it comes from conducted analysis.

BIBLIOGRAFIA

- [1] Chrzanowski T. Timber orthodox churches in Poland and Ukraine. *Renovations* 1998;2:52-59.
- [2] Jabłoński K.A. White and Red. Churches of Białystok Fara. Białystok Historic-Church Study, Białystok, 2008.
- [3] Baratta A., Corbi O. Analysis of Masonry Vaulted Systems: The Barrel. In: 5th International Conference on Structural Analysis of Historical Constructions, New Delhi, 2006.
- [4] Malesza M., Miedzialowski Cz. Function of the modern techniques and their influence on analyses in reconstruction of historic buildings. In: 5th International Conference on Structural Analysis of Historical Constructions, New Delhi, 2006.
- [5] Roca P. The study and Restoration of Historical Structures: from Principles to Practice. In: 5th International Conference on Structural Analysis of Historical Constructions, New Delhi, 2006, 9-16.
- [6] Jasieńko J. Połączenia klejowe i inżynierskie w naprawie, konserwacji i wzmocnianiu zabytkowych konstrukcji drewnianych. Dolnośląskie Wydawnictwo Edukacyjne, Wrocław, 2003.
- [7] Malesza M., Miedzialowski Cz. Monitoring of Interaction of Monumental Historic Complex Located on Earth Embankment. In: RILEM Symposium: On Site Assessment of Concrete, Masonry and Timber Structures – SACoMaTiS, Varenna, Italy, 2008, 1239-1246.
- [8] Makarewicz A. i in. Inventory and Design of Wniebowzięcia NMP cathedral church in Białystok. Białystok, 2014.
- [9] Miedzialowski Cz. i in. Expertise of Wniebowzięcia NMP the cathedra church in Białystok on process of cracking in the vaults. Białystok, 2014.
- [10] Budownictwo ogólne. T. 1-5, Arkady, Warszawa, 2005-2010.
- [11] Ściślewski Z. Durability of buildings. In: XX Konferencja Naukowo-Techniczna AWARIE BUDOWLANE, Szczecin-Międzyzdroje, 2001.
- [12] Ważny J., Karyś J.: Protection of buildings against biological corrosion. Arkady, Warsaw 2001.

Streszczenie

W pracy przedstawiono wyniki analiz statycznych wzniesionego ponad 100 lat temu i istniejącego kościoła w kontekście wzajemnego oddziaływania konstrukcji drewnianej wysokiego dachu i systemu przypór nośnych ścian murowanych. Historyczny budynek wzniesiono

Abstract

Paper presents results of static analysis of historic over 100 years existing church in the context of interaction of timber high roof structure with walls and flying buttress system. Historic building represents the New-Gothic so called the Vistula-Baltic architecture

w stylu neogotyckim, znanym również w literaturze jako styl nadwiślański. Kościół zlokalizowany jest w Białymstoku, w północno-wschodniej Polsce. Konstrukcję budynku ukończono w 1905 r. Obecnie jest to archikatedralny kościół archidiecezji białostockiej. Konstrukcję drewnianą wysokiego dachu zrealizowano w formie dwuwieszarowego systemu dźwigara przekrywającego główną nawę i układu płatwiowo-krokwiowego nad nawami bocznymi. Konstrukcję dachu stanowi układ pełnych dźwigarów z belkami ciągien i układem pośrednich więźarów dachu. Ściany murowane masywne wzniesiono z cegły ceramicznej pełnej z murowanymi przyporami w formie łuków i bocznych wież. Krzyżowe sklepienia oparte są na ścianach. Pionowo nośny system konstrukcyjny stanowią ściany z pilastrami. Ściany wzniesiono bez wieńców i bez zastosowania jakichkolwiek elementów żelbetowych usztywniających. Konstrukcja dachu ma jedynie układ elementów wiążących typu ciągna w postaci drewnianych złożonych belek z belkami drewnianymi przypodporowymi w całej konstrukcji nośnej dachu i jego dźwigarów. W pracy przedstawiono również schematy statyczne konstrukcji zabytkowego kościoła i ocenę stanu technicznego konstrukcji uwzględniając ponadstuletni okres jego użytkowania. Uwzględniono także interakcje i wzajemne oddziaływanie systemów konstrukcyjnych budowli oraz zależności odkształceniowo-naprężeniowe w elementach konstrukcji. Praca zawiera również propozycje systemu wzmocnień i usztywnień istniejącej konstrukcji. Aktualny stan i efekty realizacji wzmocnień konstrukcji przedstawione są w postaci charakterystyki naprężenie-odkształcenie wybranych parametrów statycznych.

style and it is allocated in Białystok of the north-eastern part of Poland. The construction was completed in 1905. Actually it is the cathedral church of Białystok archdiocese. Timber roof structure was constructed in the form of having two planes the queen-post truss over the main church nave and the timber purlin post roof system over the aisle naves. Roof structure contains full truss with tie-beams and indirect roof trusses. Masonry walls were constructed with ceramic bricks with the masonry buttresses in the form of arches and side towers. Cross ribbed vaults are connected with walls. Vertically, load bearing structural system consists of walls and pilasters. Walls were constructed without tie-rims or any other reinforced concrete strengthening. Roof structure has the only ties in the form of timber beams with footing beams in the full roof structure trusses. Paper also presents static scheme of constructed historic church and evaluate its technical state in result of over 100 years exploitation considering interaction of static structural systems as well as the stress-strain state of structural elements. Proposals of structure repairs and introduction of strengthening and stiffening system is presented. Actual state and effects of realization of strengthening of the structure will be presented in the form of stress-strain characteristic and selected static parameters