

Lech J. Engel, Jerzy Jasieńko, Ryszard Miśków

# Wpływ rozwiązań architektonicznych i konstrukcyjnych na stan zachowania więźb dachowych w obiektach zabytkowych, na przykładzie dachu w kościele św. Doroty we Wrocławiu

## 1. Wprowadzenie

Drewniane więźby dachowe zachowały się w większości zabytkowych obiektów sakralnych, obiektów zarówno o konstrukcji ceglanej, jak i drewnianej. Więźby dachowe w wielu kościołach są w stanie złym, a część z nich jest w stanie przedawaryjnym, nieliczne tylko, remontowane i konserwowane, są w stanie dobrym. W wielu dachach występują znaczące odkształcenia. W prawie wszystkich dachach są znaczne, na ogół rozległe zniszczenia elementów konstrukcji przez szkodniki biologiczne oraz spękania wynikające z utraty wytrzymałości drewna na docisk prostopadłe lub pod kątem do włókien.

Ostatnie lata przyniosły znaczne zainteresowanie obiektami architektury drewnianej, co przekłada się na podjęcie liczniejszych niż w poprzednich latach prac ratunkowych i rewaloryzacyjnych, szczególnie w obiektach sakralnych, w tym również w drewnianych dachach kościołów o konstrukcji masywnej.

Przyjmując tezę, że rozwiązania architektoniczne w zakresie formy dachów oraz rozwiązania konstrukcyjne więźb dachowych, a szczególnie połączeń elementów w tych więźbach mają decydujący wpływ na trwałość obiektów zabytkowych, podjęto badania statyczne zachowanych drewnianych więźb dachowych w trzech kościołach. Są to: kościół gotycki z XIV wieku o konstrukcji ceglanej pw. św. Doroty we Wrocławiu, kościół poewangelicki z XVIII wieku o konstrukcji drewnianej w Sierakowie i kościół poewangelicki z XVIII wieku o konstrukcji drewnianej w Miejskiej Górze. W pracy przedstawiono wyniki badań więźby da-

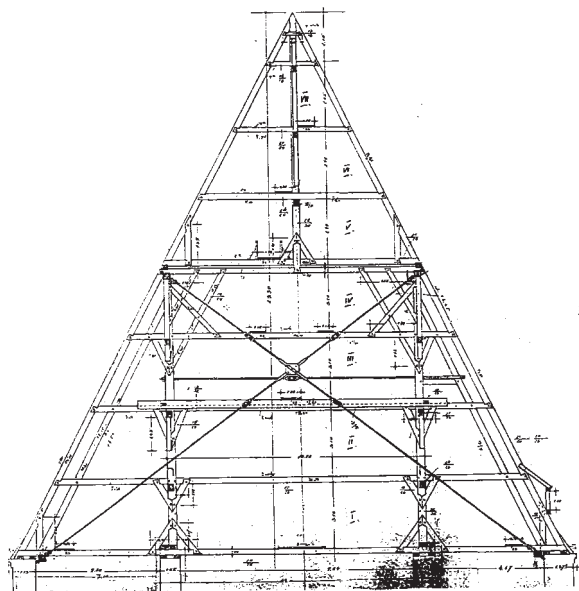
chowej w kościele gotyckim św. Doroty we Wrocławiu. Praca przedstawia fragmentaryczne wyniki szerszego programu badawczego, w którym podjęto badania analityczne i numeryczne w celu oceny wpływu niektórych rodzajów uszkodzeń (strefy oparcia, deformacje węzłów, zmiany schematów statycznych, etc.) na pracę statyczną drewnianych konstrukcji zabytkowych (więźby dachowe, konstrukcje ścian). Ostatecznym celem programu jest określenie wagi poszczególnych uszkodzeń dla wieloletniej eksploatacji konstrukcji (nośność, sztywność, stateczność) oraz stworzenie klasyfikacji koniecznych napraw i wzmocnień.

## 2. Opis obiektu i metody badania

Kościół gotycki, którego dach jest przedmiotem badań, jest użytkowany, należy do największych świątyń Wrocławia. Jest to kościół bazylikowy 3-nawowy o wydłużonym prezbiterium, o ścianach, filarach i sklepieniach z cegły. Badany dach nad korpusem głównym kościoła jest stromy, o spadku połąci wynoszącym  $63^\circ$ , kryty dachówką korytkową, 7-kondygnacyjny o wysokości 23 m, stanowi on największą konstrukcję więźby dachowej we Wrocławiu. Dach w górnej 3-kondygnacyjnej części jest o konstrukcji storczykowej, w dolnej 4-kondygnacyjnej części o konstrukcji słupowo-jętkowej. Dach jest oparty na ścianach zewnętrznych oraz na 2 rzędach filarów międzynawowych. Elementy więźby dachowej są o dużych przekrojach. Dolną partię więźby stabilizowano stalowymi ściągami w XIX wieku (rys. 1).

Więźba dachowa korpusu głównego kościoła drewniana, o 3 wiązarach pośrednich między wią-

*Praca dopuszczona do druku po recenzjach*



Rys. 1. Konstrukcja więźby dachowej nad korpusem kościoła (z materiałów Archiwum Miejskiego Wrocławia)

zarami głównymi, o połączeniach ciesielskich wzmocnionych kołkami drewnianymi. Tramy nieciągłe 1-przęsłowe złożone z 3 części, zakotwione w ścianach zewnętrznych elementami stalowymi, a w ścianach wewnętrznych (nad filarami między nawowymi) elementami drewnianymi.

Konstrukcja dachu została do przeprowadzenia obliczeń zamodelowana przy założeniu, że węzły są przegubowe, czyli nie przenoszą momentów zginających. Założono do obliczeń, że istniejące drewno w dachach odpowiada normowym warunkom dla drewna klasy C27, bazując na średnich wynikach uzyskanych w badaniach laboratoryjnych cech wytrzymałościowych drewna w zbliżonym wieku. Obliczenia stopnia wykorzystania przekroju między połączeniami wykonano w oparciu o program ROBOT MILLENNIUM. Obliczenia wykonane za pomocą tego programu nie uwzględniają zmniejszenia przekroju elementów w miejscach połączeń. Stopień wykorzystania przekroju elementów w połączeniach ustalono za pomocą obliczeń przeprowadzonych w sposób tradycyjny, uwzględniając osłabienia elementów w miejscach połączeń.

Obliczenia więźby dachowej zostały wykonane dla działających obciążeń, to jest dla I strefy wiatrowej i dla obciążenia technologicznego poddasza wynoszącego  $1,2 \text{ kN/m}^2$ . Obciążenie śniegiem pominięto w obliczeniach z uwagi na spadek połaci dachowych przekraczający  $60^\circ$ . W obliczeniach pominięto wpływ XIX-wiecznego stężenia wiązarów głównych elementami stalowymi jako nieaktywnego.

Obliczenia statyczne więźby dachowej zostały wykonane dla następujących przypadków:

1. schemat – **wiązar główny**, podparcie **przegubowo-nieprzesuwne** – oparcie na ścianach i fi-

2. schemat – **wiązar główny**, podparcie **przegubowo-przesuwne** – siły rozporu poziomego przenosi tramy,
3. schemat – **wiązar główny**, podparcie **przegubowo-przesuwne** – siły rozporu poziomego przenosi więźba dachowa – przy założeniu **przecięcia** (uszkodzenia, zniszczenia) **tramu**,
4. schemat – **wiązar główny**, podparcie **przegubowo-nieprzesuwne** – oparcie na ścianach i filarach, z zakotwieniem elementów więźby w ścianach zewnętrznych – poziome **przemieszczenie podpory** skrajnej, to jest ściany o **1 cm**,
5. schemat – **wiązar główny**, podparcie **przegubowo-nieprzesuwne** – oparcie na ścianach i filarach, z zakotwieniem elementów więźby w ścianach zewnętrznych – poziome **przemieszczenie podpory** skrajnej, to jest ściany o **2 cm**,
6. schemat – **wiązar pośredni**, podparcie **przegubowo-nieprzesuwne** – oparcie na ścianach i filarach, z zakotwieniem elementów więźby w ścianach zewnętrznych.

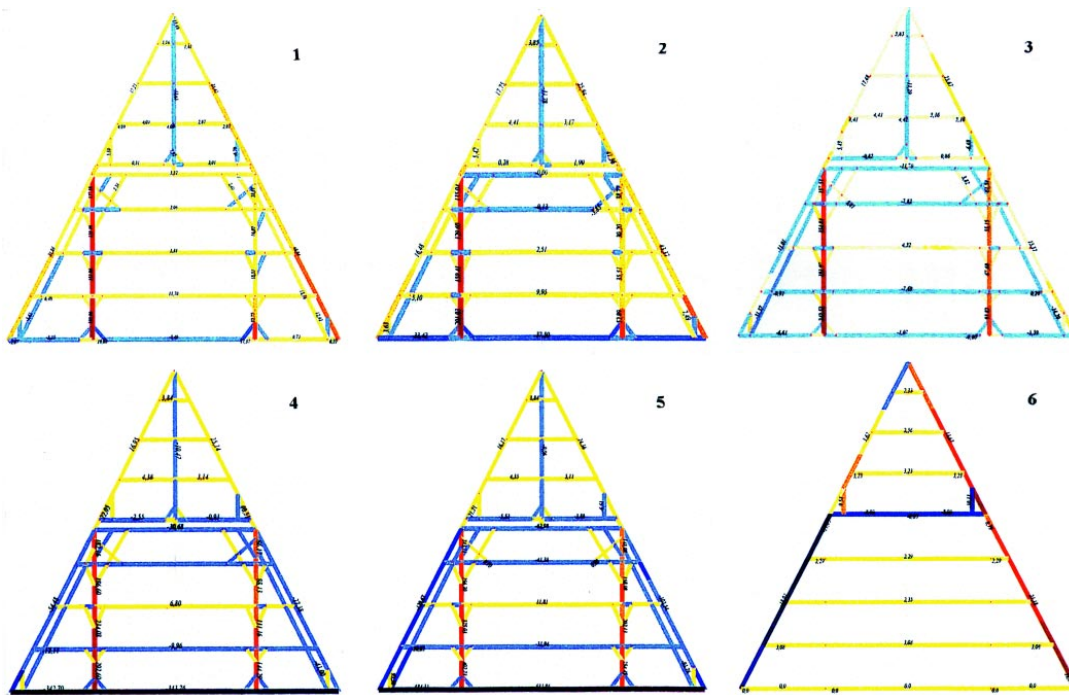
Przeprowadzono analizę zmian współczynników wyęźniowych przy schematach podparcia przyjętych jak wyżej. Przyjęto przy analizie jako schemat odniesienia **wiązar główny** podparty **przegubowo-nieprzesuwnie**, czyli schemat 1, zgodny z istniejącą konstrukcją badanej więźby dachowej kościoła, która jest zakotwiona w ścianach zewnętrznych.

### 3. Uzyskane wyniki obliczeń

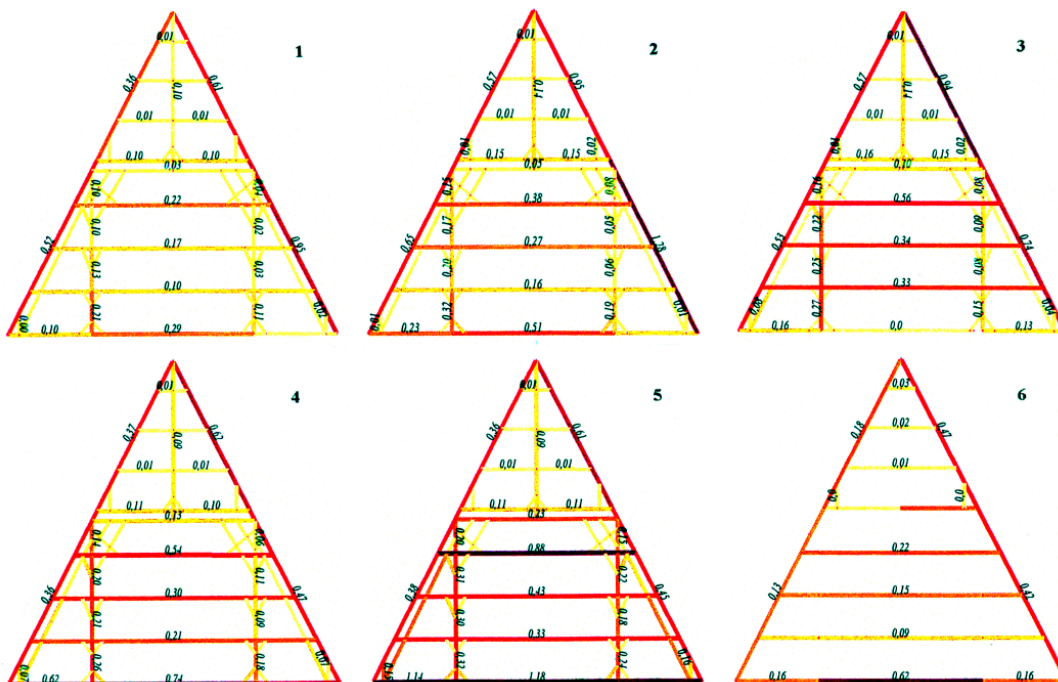
Celem obliczeń było ustalenie wielkości sił i współczynników wyęźnienia (stosunek naprężeń do wytrzymałości obliczeniowej – stopień wykorzystania przekroju elementów) w elementach wiązarów dachowych oraz ich wzajemnych relacji przy sześciu różnych schematach podparcia wiązarów, realnie występujących w więźbach dachów kościołów. Pierwsze pięć rozpatrywanych przypadków dotyczy wiązarów głównych, a przypadek szósty wiązara pośredniego.

Jako schemat podstawowy oparcia wiązara, będący schematem odniesienia, przyjęto podparcie istniejące **przegubowo-nieprzesuwne**, gdzie tramy wiązarów są zakotwione w masywnych ścianach zewnętrznych i wewnętrznych (nad filarami) kościoła.

Drugi badany schemat to podparcie **przegubowo-przesuwne**, to jest takie, jakie z reguły występuje w kościołach o konstrukcji drewnianej lub w kościołach o ścianach ceglanych, gdy zniszczeniu ulegną elementy kotwiące tramy w ścianach.



Rys. 2. Schematy ideowe sił osiowych N od kombinacji obciążeń obliczeniowych, dla rozpatrywanych przypadków oparcia wiązarów: 1 – wiązar główny, podparcie przegubowo-nieprzesuwnie, schemat odniesienia, 2 – wiązar główny, podparcie przegubowo-przesuwnie, 3 – wiązar główny, podparcie przegubowo-przesuwnie, przy założeniu przecięcia tramu, 4 – wiązar główny, podparcie przegubowo-nieprzesuwnie, przy założeniu przemieszczenia poziomego podpory skrajnej o 1 cm, 5 – wiązar główny, podparcie przegubowo-nieprzesuwnie, przy założeniu przemieszczenia poziomego podpory skrajnej o 2 cm, 6 – wiązar pośredni, podparcie przegubowo-nieprzesuwnie. Oznaczenia: kolor żółty i czerwony oznacza ściskanie, wielkość siły wzrasta wraz z intensywnością koloru żółtego, a następnie czerwonego, kolor niebieski oznacza rozciąganie



Rys. 3. Schematy ideowe współczynników wyężeń, bez uwzględnienia osłabionych przekrojów w połączeniach, dla rozpatrywanych przypadków oparcia wiązarów: 1 – wiązar główny, podparcie przegubowo-nieprzesuwnie, schemat odniesienia, 2 – wiązar główny, podparcie przegubowo-przesuwnie, 3 – wiązar główny, podparcie przegubowo-przesuwnie, przy założeniu przecięcia tramu, 4 – wiązar główny, podparcie przegubowo-nieprzesuwnie, przy założeniu przemieszczenia poziomego podpory skrajnej o 1 cm, 5 – wiązar główny, podparcie przegubowo-nieprzesuwnie, przy założeniu przemieszczenia poziomego podpory skrajnej o 2 cm, 6. – wiązar pośredni, podparcie przegubowo-nieprzesuwnie. Oznaczenia: wyężenie wzrasta wraz z intensywnością koloru żółtego, a następnie czerwonego



Trzeci badany schemat to więzary podparty **przegubowo-przesuwne**, w którym tram uległ zniszczeniu, co stosunkowo często ma miejsce, głównie na podporze skrajnej, szczególnie narażonej na zawilgocenie i zniszczenie w wyniku działania szkodników biologicznych.

Czwarty i piąty badany schemat to, przy podparciu **przegubowo-nieprzesuwne**, przemieszczenie podpory skrajnej o 1 cm i 2 cm, co czasem ma miejsce w ścianach ceglanych wysokich kościołów, które ulegają wychyleniu w wyniku rozporowego działania sklepień.

Szósty badany schemat to więzary pośredni podparty **przegubowo-nieprzesuwne**, zgodny ze stanem istniejącym.

Wszystkie te badane przypadki przedstawione na załączonych rysunkach i w tabelach były porównywane do schematu pierwszego będącego schematem odniesienia.

W wyniku przeprowadzonych obliczeń ustalono wielkości sił osiowych, sił poprzecznych i momentów we wszystkich elementach więzarów, wykonano wykresy oraz schematy ideowe sił dla wszystkich badanych przypadków, a ponadto schematy ideowe współczynników wytyżeńiowych elementów między połączeniami. Ustalono również współczynniki wytyżeńiowe elementów w węzłach. Uzyskane wyniki, dla wszystkich badanych przypadków, zestawiono na rysunkach oraz w tabelach w sposób umożliwiający porównanie zmian. W pracy ograniczono się do przedstawienia wykre-

sów ideowych sił osiowych (rys. 2) i współczynników wytyżeńiowych (rys. 3).

Na rysunku 2, na schematach ideowych sił osiowych pokazano zmiany wielkości sił przy zmianie schematu podparcia. Ponadto w części elementów siły ściskające zastępuje rozciąganie, ma to miejsce w schemacie 2 w jętce 3 od dołu oraz w schematach 3, 4 i 5 w jętkach 1, 3 i 4 od dołu, co ma zasadniczy wpływ na wzrost współczynników wytyżeńiowych. Wielkość sił w kolejnym schemacie znacząco wzrasta.

Wykorzystanie przekroju elementów opisano współczynnikami wytyżeńiowymi, w których wartość **1,00** oznacza osiągnięcie przez naprężenia wytrzymałości obliczeniowej drewna. Współczynniki wytyżeńiowe elementów między połączeniami, bez uwzględnienia osłabienia przekroju w połączeniach, dla wszystkich badanych przypadków przedstawiono na rysunku 3.

Zestawienie współczynników wytyżeńiowych w elementach między połączeniami dla rozpatrywanych przypadków oparcia więzarów dachowych i wzrost, lub ich spadek w % w stosunku do więzara 1 stanowiącego schemat odniesienia podano w tabeli 1, a zestawienie współczynników wytyżeńiowych w elementach w połączeniach podano w tabeli 2.

Na rysunku 4 dokonano, w formie wykresów, dla wszystkich badanych przypadków podparcia więzarów, zestawienia współczynników wytyżeńiowych wybranych elementów między połączenia-

Tabela 1. Zestawienie współczynników wytyżeńiowych dla rozpatrywanych przypadków oparcia więzarów dachowych i wzrost współczynników w % lub ich spadek w %, w stosunku do więzara podpartego przegubowo-nieprzesuwne, stanowiącego schemat odniesienia

Element	Więzary główny podparcie:								Więzary pośredni podparcie:		
	nieprzesuwne	przesuwne		przesuwne przy przecięciu tramu		nieprzesuwne przy przemieszczeniu poziomym podpory skrajnej o:		nieprzesuwne			
						1 cm	2 cm				
krokiew:											
– górna	0,61	0,95	56%	0,94	54%	0,62	2%	0,61	0%	0,47	-23%
– dolna	0,95	1,28	35%	0,74	-22%	0,47	-51%	0,45	-53%	0,42	-56%
jętka:											
– 3 od dołu	0,22	0,38	73%	0,56	155%	0,54	145%	0,88	300%	0,22	0%
– 2 od dołu	0,17	0,27	59%	0,34	100%	0,3	76%	0,43	<b>153%</b>	0,15	-12%
– 1 od dołu	0,1	0,16	60%	0,33	230%	0,21	110%	0,33	<b>230%</b>	0,09	-10%
śłup:	0,21	0,32	52%	0,27	29%	0,26	29%	0,32	52%	–	–
wieszak:	0,1	0,14	40%	0,14	40%	0,09	-10%	0,09	-10%	–	–
tram:											
– przęsło skrajne	0,1	0,23	130%	0,16	60%	0,62	520%	<b>1,14</b>	1040%	0,16	60%
– przęsło środkowe	0,29	0,51	76%	0	–	0,74	<b>155%</b>	<b>1,18</b>	307%	0,62	114%

Tabela 2. Zestawienie współczynników wytrzymałościowych elementów w połączeniach dla rozpatrywanych przypadków oparcia wiązarów dachowych i wzrost współczynników w % lub ich spadek w -%, w stosunku do wiązara podpartego przegubowo-nieprzesuwnie, stanowiącego schemat odniesienia

Połączenie element, obciążenie	Wiązar główny podparcie:								Wiązar pośredni podparcie:		
	nieprzesuwne	przesuwne		przesuwne przy przecięciu tramu		nieprzesuwne przy przemieszczeniu poziomym podpory skrajnej o:				nieprzesuwne	
						1 cm		2 cm			
1. Połączenie krokwi z kramem											
krokiew:											
- docisk	0,15	0,16	7%	0,08	-47%					0,06	-60%
tram:											
- docisk	0,3	0,33	10%	0,16	-47%					0,12	-60%
- docisk poziomy czopu	0,41	0,44	7%	0,21	-49%					0,16	-61%
- ścinanie poziome	0,37	0,40	8%	0,19	-49%					0,14	-62%
2. Połączenia krokwi z jętką											
jętka 3 od dołu											
- docisk	0,01	-		-		-		-		0,01	0%
- rozciąganie	-	0,01		0,15	1400%*	0,23	2200%*	0,39	3800%*	-	
- ścinanie zamka	-	0,01		0,83	8200%*	<b>1,30</b>	12900%*	<b>2,23</b>	22200%*	-	
krokiew:											
- docisk	0,01	-		-		-		-		0,02	100%
jętka 1 od dołu:											
jętka:											
- docisk	0,03	0,03	0%	-		-		-		0,01	-67%
- rozciąganie	-	-		0,11		0,16		0,16		-	
- ścinanie zamka	-	-		0,62		0,91		0,93		-	
krokiew:											
- docisk	0,08	0,06	-25%	-		-		-		0,02	-75%
3. Połączenie słupa z traniem											
słup:											
- docisk	0,28	0,33	18%	0,27		0,34	21%	0,53	89%		
tram											
- docisk	<b>1,09</b>	1,31	20%	<b>1,04</b>	-5%	<b>1,31</b>	20%	<b>2,09</b>	92%		

\*) wzrost współczynników wytrzymałościowych w stosunku do wiązara podpartego przegubowo-przesuwnie.

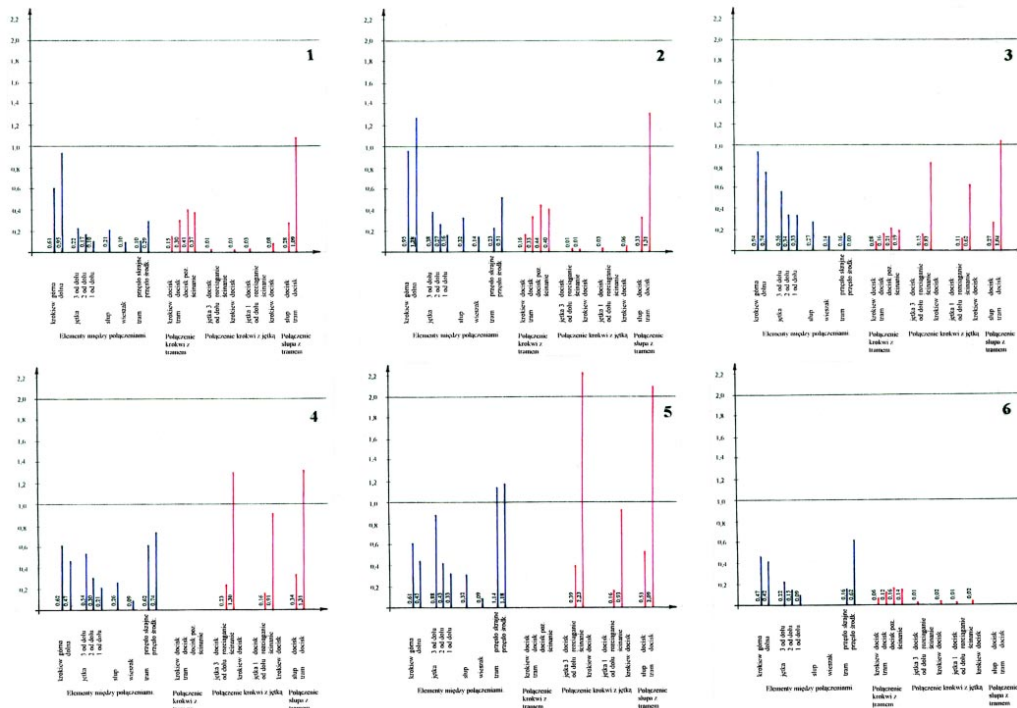
mi oraz w połączeniach, uwzględniając obliczeniowo zmniejszenie przekroju w miejscach połączeń.

Jak wynika z rysunku 4:

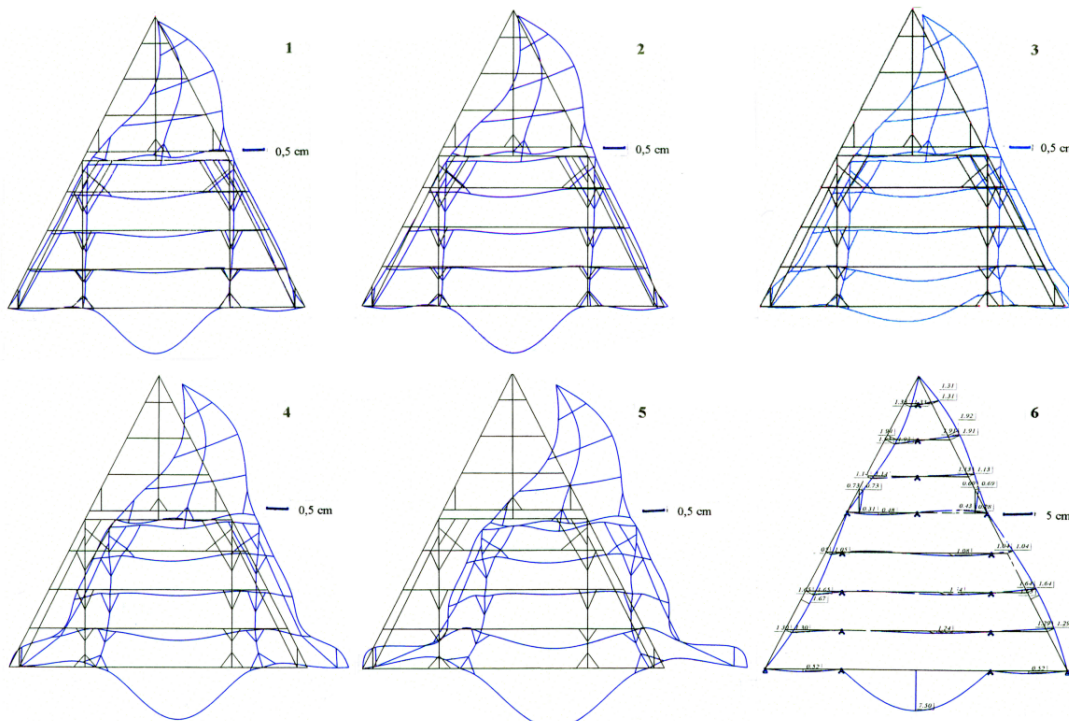
– w **wiązarze głównym** przy podparciu **przegubowo-nieprzesuwnym** wykorzystanie przekroju elementów jest niewielkie i między połączeniami waha się w granicach **0,10-0,29**, z wyjątkiem krokwi nieuszywnionych w płaszczyźnie dachu, w których z powodu smukłości wykorzystanie wynosi **0,61-0,95**. Wykorzystanie elementów w połączeniach wynosi w granicach **0,01-1,09** i w przypadku tramu przekracza wytrzymałość obliczeniową drewna,

– przy podparciu **przegubowo-przesuwnym** wykorzystanie przekroju elementów, mimo że wzrasta, na ogół nadal jest niewielkie i wynosi między połączeniami **0,14-0,51**, a tylko w krokwiach wynosi **0,95-1,28** i przekracza wytrzymałość obliczeniową drewna. Wykorzystanie elementów w połączeniach wynosi w granicach **0,01-1,31** i w przypadku tramu przekracza wytrzymałość obliczeniową drewna,

– przy podparciu **przegubowo-przesuwnym** przy założeniu **przecięcia** (zniszczenia) **tramu** wykorzystanie przekroju elementów wzrasta i wynosi



Rys. 4. Zestawienie współczynników wyężeniowych wybranych elementów między połączeniami oraz w połączeniach, dla rozpatrywanych przypadków oparcia wiązarów: 1 – wiązár główny, podparcie przegubowo-nieprzesuwne, schemat odniesienia, 2 – wiązár główny, podparcie przegubowo-przesuwne, 3 – wiązár główny, podparcie przegubowo-przesuwne, przy założeniu przecięcia tramu, 4 – wiązár główny, podparcie przegubowo-nieprzesuwne, przy założeniu przemieszczenia poziomego podpory skrajnej o 1 cm, 5 – wiązár główny, podparcie przegubowo-nieprzesuwne, przy założeniu przemieszczenia poziomego podpory skrajnej o 2 cm, 6 – wiązár pośredni, podparcie przegubowo-nieprzesuwne. Oznaczenia: kolor niebieski – współczynniki wyężeniowe elementów między połączeniami, kolor czerwony – współczynniki wyężeniowe elementów w połączeniach



Rys. 5. Odkształcenia konstrukcji od kombinacji obciążeń charakterystycznych, dla rozpatrywanych przypadków oparcia wiązarów: 1 – wiązár główny, podparcie przegubowo-nieprzesuwne, schemat odniesienia, 2 – wiązár główny, podparcie przegubowo-przesuwne, 3 – wiązár główny, podparcie przegubowo-przesuwne, przy założeniu przecięcia tramu, 4 – wiązár główny, podparcie przegubowo-nieprzesuwne, przy założeniu przemieszczenia poziomego podpory skrajnej o 1 cm, 5 – wiązár główny, podparcie przegubowo-nieprzesuwne, przy założeniu przemieszczenia poziomego podpory skrajnej o 2 cm, 6 – wiązár pośredni, podparcie przegubowo-nieprzesuwne

między połączeniami **0,16-0,94** nie przekraczając wytrzymałości obliczeniowej drewna. Wykorzystanie elementów w połączeniach wynosi w granicach **0,15-1,04** i w przypadku tramu przekracza wytrzymałość obliczeniową drewna. W jętkach następuje zmiana kierunku działania sił ze ściskania na rozciąganie, co powoduje wystąpienie ścinania w węzłach i znaczny wzrost wykorzystania jętek,

– przy podparciu **przegubowo-nieprzesuw-nym** przy założeniu **przemieszczenia poziomego podpory skrajnej o 1 cm**, wykorzystanie przekroju elementów znacząco wzrasta i wynosi między połączeniami **0,09-0,74**. Wykorzystanie elementów w połączeniach wynosi w granicach **0,16-1,31** i w przypadku jętki oraz tramu przekracza wytrzymałość obliczeniową drewna. W jętkach następuje zmiana kierunku działania sił ze ściskania na rozciąganie, co powoduje wystąpienie ścinania w węzłach i znaczny wzrost wykorzystania jętek,

– przy podparciu **przegubowo-nieprzesuw-nym** przy założeniu **przemieszczenia poziomego podpory skrajnej o 2 cm**, wykorzystanie przekroju elementów znacząco wzrasta i wynosi między połączeniami **0,09-1,18** i w przypadku tramu przekracza wytrzymałość obliczeniową drewna. Wykorzystanie elementów w połączeniach wynosi w granicach **0,16-2,23** i w przypadku jętki oraz tramu ponad dwukrotnie przekracza wytrzymałość obliczeniową drewna. W jętkach następuje zmiana kierunku działania sił ze ściskania na rozciąganie, co powoduje wystąpienie ścinania w węzłach i tak znaczny wzrost wykorzystania jętek,

– w **wiązarze pośrednim** podpartym **przegubowo-nieprzesuw-nie** wykorzystanie przekro-

ju elementów jest niewielkie i wynosi między połączeniami **0,09-0,62**. Wykorzystanie elementów w połączeniach wynosi w granicach **0,01-0,16**. Zarówno wykorzystanie elementów między połączeniami, jak i w połączeniach jest tu mniejsze niż w wiązarze głównym podpartym przegubowo-nieprzesuw-nie.

Na rysunku 5 pokazano odkształcenia konstrukcji, dla wszystkich badanych przypadków podparcia wiązarów. Odkształcenia chwilowe, to jest bez uwzględnienia przyrostu przemieszczenia w czasie na skutek pełzania i zmian wilgotności, na podstawie obliczeń przeprowadzonych za pomocą programu ROBOT MILLENNIUM.

W tabeli 3 zestawiono odkształcenia elementów dla rozpatrywanych przypadków oparcia wiązarów dachowych oraz zmiany odkształceń w stosunku do wiązara stanowiącego schemat odniesienia, uwzględniając przyrost przemieszczenia w czasie na skutek pełzania i zmian wilgotności.

Odkształcenia elementów wiązara, jak wynika z tabeli 3, na ogół nie są duże i w wiązarach **głównych**, w rozpatrywanych przypadkach oparcia wynoszą **2%-89%**, w wiązarach **pośrednich 26%-114%**, a w trame wiązara pośredniego wynoszą **205%**. Odkształcenia elementów wiązara głównego, przy podparciu przegubowo-przesuw-nym oraz przy przecięciu tramu, maleją w stosunku do przegubowo-nieprzesuw-nego schematu odniesienia, a w przypadkach przemieszczenia poziomego przy-pory skrajnej znacząco rosną, w zależności od wielkości przemieszczenia, choć nie osiągają wielkości odkształcenia dopuszczalnego. Niewystępowanie zmian odkształcenia w krokwiach górnych, przy

Tabela 3. Zestawienie wielkości odkształceń elementów w cm dla rozpatrywanych przypadków oparcia wiązarów dachowych i wzrost odkształceń w % lub ich spadek w -%, w stosunku do wiązara podpartego przegubowo-nieprzesuw-nie, stanowiącego schemat odniesienia. W obliczeniach uwzględniono normowy współczynnik uwzględniający przyrost przemieszczenia w czasie na skutek pełzania i zmian wilgotności

Element	Wiązar główny podparcie:								Wiązar pośredni podparcie:		
	nieprzesuwne	przesuwne		przesuwne przy przecięciu tramu		nieprzesuwne przy przemieszczeniu poziomym podpory skrajnej o:				nieprzesuwne	
						1 cm		2 cm			
krokiew:											
– górna nawietrzna	0,62	0,62	0%	0,62	0%	0,62	0%	0,62	0%	<b>1,86</b>	200%
– górna zawietrzna	0,59	0,59	0%	0,59	0%	0,59	0%	0,59	0%	<b>1,83</b>	210%
– dolna nawietrzna	0,07	0,06	-14%	0,29	314%	0,49	600%	1,55	2114%	1,64	<b>2243%</b>
– dolna zawietrzna	0,13	0,12	8%	0,25	92%	0,47	262%	1,53	<b>1077%</b>	1,6	<b>1131%</b>
tram:											
– nawietrzny	0,11	0,1	-9%	0,06	-45%	0,14	27%	0,44	<b>300%</b>	0,69	527%
– środkowy	1,79	1,34	-25%	0,84	-53%	1,96	9%	2,33	30%	<b>10,08</b>	463%
– zawietrzny	0,15	0,12	-20%	0,08	-47%	0,1	-33%	0,38	153%	0,69	475%



zmianie schematu w więzarach głównych, ma przyczynę w niezależnym w znacznym stopniu schemacie dachu storczykowego w górnej 3-kondygnacyjnej partii więzara. Odształcenia elementów więzara pośredniego są znacznie większe niż więzara głównego i w przypadku krokwi przekraczają naprężenia dopuszczalne o 12% i 14%, a w tramie środkowym o 105%.

Ugięcie dopuszczalne w poszczególnych elementach wynosi:

- krokwie górne:  $u_d = 325/200 = 1,63$  cm
- krokwie dolne:  $u_d = 350/200 = 1,75$  cm
- tram nawietrzny (lewy):  $u_d = 528/200 = 2,64$  cm
- tram środkowy:  $u_d = 984/200 = 4,92$  cm
- tram zawietrzny (prawy):  $u_d = 467/200 = 2,34$  cm

Przekroczenie dopuszczalnego ugięcia występuje w więzarze pośrednim:

- w krokwiach górnych: o 14% i 12%,
- w tramie środkowym: o 105%.

Wyznaczone ugięcia w stosunku do dopuszczalnych, we wszystkich rozpatrywanych przypadkach, wynoszą:

- w krokwiach górnych: w więzarze głównym 36%-38%, w więzarze pośrednim 112%-114%,
- w krokwiach dolnych: w więzarze głównym 3%-89% w więzarze pośrednim 91%-94%,
- w tramach w przęsłach bocznych: w więzarze głównym 2%-17% w więzarze pośrednim 26%-29%,
- w tramie w przęśle środkowym: w więzarze głównym 17%-47% w więzarze pośrednim 205%.

#### 4. Analiza wyników obliczeń

Do obliczeń, jak i analizy wyników przyjęto jako schemat odniesienia **więzary główny** podparty **przegubowo-nieprzesuwnie**, zakotwiony w ścianach, to jest istniejący w badanym kościele schemat pracy więzby dachowej. Analizie poddano uzyskane wyniki pokazane na rysunkach i w tabelach. Przy analizie należy mieć na uwadze, niezależny w znacznym stopniu, schemat dachu storczykowego, w górnej 3-kondygnacyjnej partii więzara, co skutkuje małymi zmianami wykorzystania krokwi górnych i wieszaków przy zmianie schematu pracy więzarów.

Analizując wyniki obliczeń ustalono, że:

1. W więzarze głównym i więzarze pośrednim, przy istniejącym schemacie przegubowo-nieprzesuwnym podparcia więzby, wykorzystanie przekroju elementów na ogół jest niewielkie, większe w połączeniach niż między połączeniami. W pozostałych badanych przypadkach wykorzystanie

przekroju elementów znacząco rośnie, przy czym szybszy wzrost występuje w połączeniach.

2. Szczególnie duże jest wykorzystanie przekroju krokwi w schemacie 1 i 2, co ma przyczynę w znacznej smukłości krokwi niewystarczająco stężonych w płaszczyźnie połączy dachowej, w pozostałych schematach wykorzystanie krokwi maleje.

3. Szczególnie duże jest wykorzystanie docisku w tramie pod słupem w schemacie 1, znacząco rośnie ono również w schematach 2, 4 i 5.

4. Znaczący wzrost wykorzystania przekroju jętek w schematach 4 i 5, połączony ze znacznym przekroczeniem wytrzymałości obliczeniowej, ma przyczynę w wystąpieniu w tych schematach dużych sił rozciągających w jętkach i w konsekwencji ścinania w połączeniach, przy stosunkowo niewielkiej wytrzymałości drewna na ścinanie.

5. W więzarze głównym odształcenia elementów są niewielkie we wszystkich badanych przypadkach. W więzarze pośrednim, przy istniejącym schemacie podparcia, odształcenia elementów są znaczne i w wielu elementach przekraczają wielkości dopuszczalne.

Generalnie, we wszystkich analizowanych przypadkach wykorzystanie przekroju elementów w połączeniach jest większe niż między połączeniami. Naprężenia w elementach w połączeniach, przy wzroście obciążenia czy zmianie schematu osiągną wcześniej wytrzymałość obliczeniową drewna niż między połączeniami i w konsekwencji zniszczenie konstrukcji rozpocznie się od połączeń.

Powyższe dane zweryfikowano przy badaniu więzby dachowej XVIII-wiecznego poewangelickiego kościoła drewnianego w Sierakowie, gdzie uzyskano podobne rezultaty obliczeń.

#### 5. Podsumowanie

W badanych więzarach dachowych wykorzystanie nośności elementów jest niewielkie i znacznie zróżnicowane. Wiazary zachowując istniejący schemat podparcia, przy nieodkształcalnych podporach, przenoszą istniejące obciążenia już od kilkuset lat i są zdolne nadal przenosić te obciążenia. Stan zachowania więzby dachowej w tak długim okresie, mimo rozległych zniszczeń, jakie miały miejsce przed remontem, stanowi świadectwo właściwych rozwiązań architektonicznych bryły dachu i poprawnych rozwiązań konstrukcyjnych w zakresie przekrojów elementów i ich połączeń.

Badany więzar dachowy jest konstrukcją wrażliwą na uszkodzenia elementów przede wszystkim w węzłach i szczególnie nieodporną na poziome przemieszczenia podpór. Zmiana sposobu oparcia



wiązarów czy wyłączenie z pracy tramu, mogące mieć przyczynę w zniszczeniach przez szkodniki biologiczne, będzie skutkowało znaczącym zwiększeniem wykorzystania elementów. Przemieszczenie poziome podpór, nawet niewielkie, mogące mieć przyczynę w siłach poziomego rozporu sklepień, spowoduje znaczący wzrost wykorzystania elementów, przekroczenie wytrzymałości obliczeniowej drewna i w miarę wzrostu przemieszczeń doprowadzi do zniszczenia poszczególnych elementów i całych wiązarów.

Warunkiem dalszej wieloletniej pracy statycznej wiązarów jest zachowanie niezmienności układu statycznego podparcia wiązarów oraz stabilność podpór.

### Literatura

- [1] Ganowicz R., *Historyczne więźby dachowe polskich kościołów*. Wydawnictwo Akademii Rolniczej im. Augusta Cieszkowskiego w Poznaniu, Poznań 2000.
- [2] Jasieńko J., Engel L.J., *Problemy konserwatorskie i konstrukcyjne remontu dachu korpusu głównego kościoła św. Doroty, Stanisława i Wacława we Wrocławiu*. Konferencja naukowo-techniczna „Pro-

blemy remontowe w budownictwie ogólnym i obiektach zabytkowych”, Wrocław – Zamek Kliczków, 2002.

### EFFECT OF ARCHITECTURAL AND CONSTRUCTIONAL SOLUTIONS ON PRESERVATION OF RAFTER FRAMING IN HISTORICAL BUILDINGS, ON THE EXAMPLE OF THE ROOF IN ST. DOROTHY'S CHURCH IN WROCLAW

#### Summary

Presented here is analysis of static working of selected, historical rafter framing.

The study presented forms part of the research programme realised in the scope described in the title. Concentrated on was analysis of utilising the loading capacities of original structural cross-sections and analysis of deformations.

Analysis was conducted on working of structures while making a number of assumptions concerning changes in mode of supporting the structures and also bearing in mind the possibility of existence of structural damage in time.