

Piotr Rapp\*

## Metodyka i przykłady rewaloryzacji konstrukcji drewnianych w obiektach zabytkowych

### Methodology and examples of revalorization of wooden structures in historic buildings

**Słowa kluczowe:** obiekt zabytkowy, konstrukcje drewniane, destrukcje drewna, rewaloryzacja

**Key words:** historic building, wooden structure, wood destruction, revalorization

#### 1. WPROWADZENIE

Tradycyjne metody napraw i wzmocnienia konstrukcji drewnianych polegają na przywróceniu nośności elementów za pomocą zabiegów ciesielskich, na ogół z wykorzystaniem dodatkowych elementów w postaci desek, bali, belek oraz płaskowników i profili stalowych łączonych z uszkodzonym elementem głównie za pomocą gwoździ, wkrętów i śrub. Stosowanie tradycyjnych rozwiązań prowadzi na ogół do zmiany wyglądu naprawionych elementów, zmiany schematów statycznych, zastosowania materiałów odmiennych od oryginału itp. Stąd tradycyjne metody naprawy powinny być stosowane tam, gdzie naprawiony lub wzmocniony element będzie zakryty, np. w stropie lub obudowanej konstrukcji dachowej. Zaletami tradycyjnych metod naprawy i wzmocnienia elementów drewnianych są względna łatwość, krótszy czas i niższe koszty wykonania robót w porównaniu z metodami konserwatorskimi.

W obiektach zabytkowych obok architektury i wystroju również sama konstrukcja ma wartość zabytkową. W przypadku naprawy konstrukcji zabytkowej należy zatem zachować kształty i wygląd elementów, materiały oraz schematy statyczne. W obiektach zabytkowych obszar robót powinien być ograniczony do niezbędnego minimum ze względu na zachowanie w maksymalnym stopniu oryginalnej substancji. Rewaloryzacja konstrukcji zabytkowej nie polega jednak wyłącznie na odtworzeniu kształtów elementów. Równie istotne jest pełne

#### 1. INTRODUCTION

Traditional methods of repair and reinforcing of wooden structures include restoring of load bearing capacity of elements by carpentry work, usually using additional elements in the form of planks, barks, beams or steel plates and profiles connected to the damaged element by nails, screws or bolts. Usually, the use of traditional methods leads to a change of profile of repaired elements, change of the static scheme or involves materials differing in nature from the original ones. Thus, the traditional methods can be used in cases, when the repaired element will remain hidden, e.g. in floor structures or enclosed roof structures. Advantages of the traditional methods include a relative ease of realization, shorter time and lower work costs when compared to conservation methods.

The historic value of monumental buildings lies not only in their architecture and decor but in the structure itself, too. Thus, in repair cases of such objects, shapes and outlook of the elements, materials and static schemes must be preserved. The scope of repair works has to be limited to a necessary minimum due to the need to preserve the originality of the structure as much as possible. Revalorization of historic buildings does not require restoration of the elements shapes only. A full recovery of load bearing capacity is equally important. That is why one cannot always use classical conservation doctrines when repairing or reconstructing weakened or damaged structural elements. Problems related to structural

\* Politechnika Poznańska

\* Poznan University of Technology

**Cytowanie / Citation:** Rapp P. Methodology and examples of revalorization of wooden structures in historic buildings. *Wiadomości Konserwatorskie – Journal of Heritage Conservation* 2015;43:92-108

**Otrzymano / Received:** 2015-10-24 • **Zaakceptowano / Accepted:** 2015-11-19

**doi:**10.17425/WK43WOODENSTRUCT

*Praca dopuszczona do druku po recenzjach*

*Article accepted for publishing after reviews*

przywrócenie nośności konstrukcji. Z tego powodu przy naprawie lub odtwarzaniu osłabionych lub uszkodzonych elementów konstrukcji nie zawsze możliwe jest stosowanie klasycznych doktryn konserwatorskich. Problemy naprawy konstrukcji często są trudne i do dzisiaj nie są w pełni rozwiązane. Istnieje jeszcze szerokie pole do poszukiwania i wdrażania nowych rozwiązań. Takie podejście do problemu uwzględnia Karta Wenecka z 1964 r. [7], która w art. 10 zawiera zapis: *Kiedy techniki tradycyjne okazują się niewydolne, wzmocnienie zabytku można zapewnić sięgając do wszelkich nowoczesnych technik konserwatorskich i budowlanych, których skuteczność wykazałyby dane naukowe i zapewniało doświadczenie.*

W niniejszym opracowaniu przedstawiono ogólne zasady oraz wybrane autorskie przykłady rewaloryzacji belkowych elementów drewnianych w obiektach zabytkowych z zastosowaniem nowoczesnych technik i technologii, takich jak klejenie oraz wzmacnianie elementów za pomocą prętów lub blach stalowych.

## **2. PRZYCZYNY NISZCZENIA ELEMENTÓW DREWNIANYCH W KONSTRUKCJACH BUDOWLANYCH**

Niszczenie elementów drewnianych w konstrukcjach budowlanych może być spowodowane wieloma czynnikami o charakterze fizycznym lub biologicznym, takimi, jak:

- nieuszczelne pokrycia dachowe,
- niewłaściwe odwadnianie dachów,
- uszkodzenia systemów odwadniających,
- ubytki w przekrojach elementów konstrukcyjnych,
- niewłaściwe połączenia elementów,
- spękania, rozluźnienia, zeschnięcia przekrojów w węzłach,
- zła realizacja oparcia belek, zwłaszcza na murach zachodnich i północnych, polegająca na braku lub uszkodzeniu izolacji przeciwwilgociowych i termicznych,
- niewłaściwa eksploatacja (nadmierne obciążenia wynikające ze zmiany warstw stropów lub przeznaczenia),
- zastosowanie drewna niezabezpieczonego lub odżywicowanego,
- działanie owadów, grzybów i pleśni – technicznych szkodników drewna,
- czas eksploatacji.

Głównym efektem działania czynników szkodliwych, szczególnie wilgoci, jest biologiczna destrukcja drewna prowadząca do zmniejszenia lub zaniku przekrojów elementów i w dalszej konsekwencji do awarii lub katastrof budowlanych.

## **3. PROBLEMATYKA NAPRAW WIĘZB DACHOWYCH I STROPÓW**

Uszkodzenia więzów dachowych i stropów najczęściej związane są z zawilgoceniem, rozwojem szkodników biologicznych oraz czasem eksploatacji. Ze względu na niekorzystny wpływ warunków atmosferycznych najbardziej zagrożone są końce krokwi i belek stropowych

repair are frequently difficult and are not fully addressed. There is a wide field for research and implementation of new methods. Such an approach is considered in Venice Charter from 1964 [7] which includes Clause 10 stating: *Where traditional techniques prove inadequate, the consolidation of a monument can be achieved by the use of any modern technique for conservation and construction, the efficacy of which has been shown by scientific data and proved by experience.*

In the present paper general rules and author's examples of revalorization of beam wooden elements in historic buildings are discussed. They involve modern techniques and technology like adhesive joints and elements reinforcing by means of steel bars and plates.

## **2. REASONS FOR DAMAGE TO WOODEN ELEMENTS IN CIVIL ENGINEERING STRUCTURES**

Damage to wooden elements in civil engineering structures can result from many factors of physical or biological nature. They include:

- untight roofing,
- improper roof drainage,
- damage to draining system,
- defects in structural elements,
- improper connection of elements,
- cracks, loosening or drying of cross-sections at joints,
- incorrect supporting of beams, especially on western and northern side walls featuring lack or damage to thermal and water insulation,
- improper service conditions (too large loading resulting from changes to floor layers or service condition),
- application of unprotected or not deresined wood,
- action of insects, fungi or mildew – technical parasites of wood,
- service time.

The principal effect of action of harmful factors, especially due to the moisture content, is a biological destruction of wood leading to decreasing or disappearance of elements cross-sections and in the consequence – to structural failure or crash.

## **3. PROBLEMS IN REPAIRS OF ROOF AND FLOOR STRUCTURES**

Damage to roof or floor structures is usually due to moisture, expansion of biological parasites and long service time. Because of the adverse influence of environmental conditions, tips of rafters and floor beams at their supports in external northern or western sides are mostly endangered. These zones feature the most intense action of moisture related to precipitation, wind and lack of sun action. Damage to rafter and beam tips may result from lack of proper insulation between a wall and the wooden element, too.

Problems related to repair and reinforcing of roof and floor wooden structures is usually linked to actions involving elements cross-sections as well as joint zones. The following works are most frequently carried out:

w miejscach ich oparcia na zewnętrznych murach północnych i zachodnich. Występuje tu najintensywniejsze działanie wilgoci związane z opadami atmosferycznymi, wiatrem i brakiem nasłonecznienia. Uszkodzenia końców krokwi i belek wynikają również z niewłaściwego oparcia, głównie ze względu na brak właściwej izolacji przeciwwilgociowej między murem a belką.

Problem naprawy i wzmacniania konstrukcji drewnianych więźb dachowych i stropów najczęściej związany jest z wykonywaniem działań na przekrojach elementów więźby lub stropu i w miejscach połączeń. Najczęściej wykonuje się:

1. Uzupełnienia przekrojów lokalne lub na długości elementu przy użyciu różnych połączeń, np.:
  - ciesielskich,
  - łączników trzpieniowych,
  - połączeń klejowych,
  - technik mieszanych.
2. Wzmocnienia przekrojów przy użyciu elementów dodatkowych:
  - drewnianych,
  - prętów stalowych żebrowanych,
  - prętów poliestrowych zbrojonych włóknem szklanym,
  - blach stalowych płaskich.
3. Impregnacje i iniekcje strukturalne – zabiegi wzmacniające strukturę drewna i przywracające ciągłość elementu.
4. Impregnacje zabezpieczające – zabiegi chroniące drewno konstrukcji więźby przed ogniem i działaniem szkodników technicznych, grzybów i owadów.

Działania wymienione w punkcie 2 oparte są z reguły na połączeniach klejowych, często wspomagane przez łączniki trzpieniowe, np. wkrety. Połączenia te pozwalają bowiem na zapewnienie ciągłej współpracy elementów składowych w czasie po wzmocnieniu, co jest trudne w przypadku użycia jedynie łączników trzpieniowych czy ciesielskich. Materiałem najczęściej stosowanym na połączenia klejowe są żywice epoksydowe z wypełniaczem mineralnym lub, zgodnie z praktyką autora, z wypełniaczem w postaci pyłu drzewnego (nie trocin) uzyskanego ze szlifowania drewna. Ważne jest przy tym, by do żywicy stosować utwardzacz nisko reaktywny, np. PAC. Ważnym elementem technologii wzmocnień przy użyciu technik klejenia jest staranne przygotowanie powierzchni elementów klejonych: oczyszczenie, odfuszczenie oraz piaskowanie w przypadku elementów stalowych. Istotne jest również dokonywanie zabiegu klejenia we właściwych warunkach atmosferycznych (temperatura wyższa od 10°C, wilgotność niższa od 75%).

Naprawy lub wzmocnienia połączeń w więźbach dachowych najczęściej wykonuje się stosując następujące metody:

1. Wbudowanie w połączenia nowych elementów np. kołków, klocków itp. Ta metoda opiera się na rutynowych zabiegach z zastosowaniem technik ciesielskich, tradycyjnych. Wilgotność drewna nowego, stosowanego na uzupełnienia nie powinna przekraczać 12%.

1. Local or longitudinal supplement to element cross-sections using various types of connection, e.g.
  - carpentry type,
  - bolt connectors,
  - adhesive joints,
  - hybrid techniques.
2. Cross-section reinforcing using additional elements:
  - wooden,
  - ribbed steel bars,
  - polyester bars reinforced with glass fibres,
  - steel plates.
3. Proofing or structural injections – actions reinforcing structure of wood and restoring its continuity.
4. Protective impregnation – actions protecting structural wood against fire or technical parasites, fungi or insects.

The actions mentioned in point 2 are usually involve adhesive joints, frequently enhanced with bolt connectors, e.g. screws. Such connections ensure a continuous interaction between component elements in time after reinforcing, what is difficult to achieve with bolt connectors or carpentry joints only. The most often used material in adhesive joints are epoxy resins with a mineral filler or, according to author's experience – with wood dust obtained from wood sanding (not a sawdust). It is important to use a low-reactive hardener for resins, e.g. PAC. It is also vital to apply an adhesive under correct environment conditions (temperature higher than 10°C, air humidity lower than 75%).

Repairs and reinforcing of roof structure joints are most frequently carried out by the following methods:

1. Embedding of new elements into joints – pegs, blocks, etc. This method bases on routine actions with the use of traditional carpentry techniques. Moisture content of the new wood should not exceed 12%.
2. Blocking slacks between members connecting at joints. This action is usually necessary due to a change of wooden elements dimensions. For instance, drying leads to shrinkage of wood and connections between elements become loose leading to a decrease of stiffness of the entire structure. Adding elements is usually carried out by conservation techniques and hard wood pieces are usually introduced with adhesive joints or free spaces are filled with epoxy resins with fillers.
3. Reinforcing with tightening screws, inserted bolts or screwed-in anchors – the means used most frequently in cases of loosened joints, where elements are dislocated. The technique with inserted bolts involves drilling holes of a depth equal to 3/4 of an element width and inserting bolts. Steel ribbed or screw bolts as well as polyester ones reinforced with glass fibres are used and glued in with epoxy resin adhesives usually.
4. Restoring of damaged tips of wooden elements connected at joints is usually carried out using replacement materials, e.g. basing on synthetic resins. This method is used in cases of joints, where elements are severely damaged by technical parasites. Affected

2. Uzupełnienie luzów między prętami łączonymi w węźle. Zabieg ten jest z reguły konieczny ze względu na zmiany wymiarów elementów drewnianych. Na przykład wysychanie powoduje skurcz drewna i rozluźnienie elementów schodzących się w węźle więźby, a co za tym idzie, zmniejszenie sztywności całej konstrukcji. Uzupełnienia dokonuje się zwykle technikami konserwatorskimi przez wklejenie elementów z drewna twardego lub poprzez wypełnienie wolnych przestrzeni przy użyciu napełnionych żywic epoksydowych.
3. Wzmocnienie połączeń za pomocą śrub ściągających, prętów wklejanych lub kotew wkręcanych – sposób stosowany najczęściej w węzłach rozluźnionych, w których elementy zmieniły pierwotne położenie. Technika prętów wklejanych polega na nawiercaniu otworów na głębokość  $\frac{3}{4}$  szerokości przekroju elementu i wklejaniu prętów. Stosuje się pręty stalowe żebrowane lub nagwintowane oraz pręty poliestrowe zbrojone włóknem szklanym oraz kleje żywiczne epoksydowe.
4. Odtworzenie zniszczonych końców prętów drewnianych schodzących się w węźle przy użyciu materiałów zastępczych, np. mas na bazie żywic syntetycznych. Metoda ta stosowana jest zwykle w tych węzłach, w których pręty drewniane zostały w znacznym stopniu porażone przez szkodniki techniczne. Porażone części drewna usuwa się i w pozostałe zdrowe drewno wkleja się pręty stalowe lub poliestrowe stanowiące zbrojenie analogiczne jak w konstrukcjach żelbetowych. Kształt węzła odtwarza się przez wykonanie szalunku, do którego wprowadza się napełnioną mieszaniną epoksydową. Metoda ta pozwala przywrócić w całości pierwotne kształty elementów, wytrzymałość i sztywność węzłów, co ma kluczowe znaczenie dla odkształceń całej konstrukcji. Możliwe jest również uzupełnianie pierwotnych przekrojów przy użyciu drewna „nowego” i realizowaniu połączeń klejowo-trzpieniowych.

Obok wymienionych wyżej metod istnieją zabiegi typowo inżynierskie, które wprowadzają zmianę schematu statycznego więźby (nowe podparcia, zastrzały, ściągi, wieszaki, etc.) i są związane z analizą statyczną pracy konstrukcji więźby, przeprowadzaną, z reguły, w związku z jej nowym przeznaczeniem. Sytuacja ta ma miejsce w procesie przebudowy lub adaptacji poddaszy obiektów zabytkowych na nowe cele. Prace te są mniej lub bardziej skomplikowane w zależności od rodzaju więźby dachowej i koniecznej ingerencji w jej konstrukcję w procesie adaptacyjnym.

#### **4. METODYKA REWALORYZACJI KONSTRUKCJI DREWNIANYCH W OBIEKTACH ZABYTKOWYCH**

Dobór metod naprawy i wzmocniania w każdym przypadku musi uwzględniać zabytkowy charakter obiektu, a nawet zabytkowy charakter poszczególnych jego elementów. Państwowa Służba Ochrony

fragments of wood are removed and steel or polyester bolts are glued into healthy wood; these connectors play a reinforcement role analogous to steel bars in reinforced concrete. Joint shapes are restored using a formwork, which is filled with epoxy mixture. The method allows for a complete restoration of shape, strength and stiffness of the joint, what is vital for the deformation performance of the entire structure. It is also possible to amend original shapes using new wood by means of bolt-adhesive joints.

Besides the above mentioned methods, typical engineering procedures exist, which lead to a change of static scheme of the roof structure (new supports, braces, ties, hangers, etc.) and are related to the static analysis of roof structure behaviour, which has to be carried out in cases involving changes of service conditions. For instance it can happen when an attic of a historic building is rebuilt or adapted to new purposes. Such works can be more or less complicated depending on a type of roof structure and a degree of necessary intervention into it.

#### **4. METHODOLOGY OF WOODEN STRUCTURE REVALORIZATION IN HISTORIC BUILDINGS**

A choice of repair and reinforcing methods must always take into account a historic context for a building, even a historic value of its particular elements. State Service of Monument Protection is obliged to determine protected values for each rehabilitated building as well as to prepare and then execute conservation guidelines in design and work stages.

Only authorized persons with appropriate qualifications could be allowed to carry out works in a historic building. It is clear, that any action undertaken in relation to such structures must result from a strict co-operation between State Service of Monument Protection, the designer and the contractor. Conservation doctrines and schools which for a long time identify methods of conservation actions in a given region represent an additional issue. It is essential to use this experience and simultaneously reach a compromise with technological and material progress.

Methods of repair and reinforcing of wooden historic structures include:

- a) actions related to a material of a historic structural element – injections, proofing, surface protection,
- b) actions related to a load-bearing cross-section or joint between elements – restoring of original service capacity or increasing load bearing capacity and stiffness.

Repair is defined as an action, which restores the original load bearing capacity and the stiffness of the element, while in the case of reinforcing these parameters are increased with respect to the original ones.

In both cases the adopted procedures should be limited to the cross-section only. From the conservation point of view, the method is correct if it does not change shape and dimensions of elements and a static scheme of a structure. Such methods very often require fine

Zabytków jest zobowiązana do określenia wartości chronionych w każdym rehabilitowanym obiekcie oraz do opracowania wytycznych konserwatorskich, a następnie do wyegzekwowania ich w fazie projektowej i wykonawczej.

W obiekcie zabytkowym prace powinny podejmować jedynie te osoby i firmy, które posiadają stosowne uprawnienia i kwalifikacje. Jest zrozumiałe, że działania na obiekcie zabytkowym powinny być wynikiem ścisłej współpracy pomiędzy Państwową Służbą Ochrony Zabytków, projektantem i wykonawcą. Dodatkowym zagadnieniem są doktryny i szkoły konserwatorskie, które od pokoleń identyfikują sposoby działania w konserwacji na danym obszarze. Istotne jest czerpanie z tych doświadczeń przy równoczesnym kompromisie z rozwojem technologicznym i materiałowym.

Metody naprawy i wzmocnienia zabytkowych konstrukcji drewnianych dotyczą:

- a) zabiegów związanych z materiałem elementu konstrukcyjnego – iniekcje, impregnacje, zabezpieczenia powierzchniowe,
- b) zabiegów związanych z przekrojem nośnym lub połączeniem elementów konstrukcyjnych – przywrócenie pierwotnej zdolności eksploatacyjnej lub zwiększenie nośności i sztywności.

Przez naprawę należy rozumieć zabieg, który przywraca nośność i pierwotną sztywność elementu, natomiast w przypadku zabiegu wzmocnienia mamy do czynienia ze wzrostem tych parametrów ponad wartości występujące pierwotnie.

W obu przypadkach przyjęte rozwiązania mogą ograniczać się jedynie do działań w obszarze przekroju poprzecznego. W rozumowaniu konserwatorskim za „lepsze” należy uważać metody, których zastosowanie nie zmienia kształtu i wymiarów elementu oraz schematu statycznego konstrukcji. Metody te często wymagają bardziej wyrafinowanej technologii i materiałów oraz połączeń wyższej generacji, np. połączeń klejowych wspomaganych łącznikami mechanicznymi.

Z uwagi na zróżnicowany charakter i stopień uszkodzenia poszczególnych elementów konstrukcji często w projekcie nie jest możliwe podanie wszystkich detali naprawy dla poszczególnych elementów. W takich przypadkach sposób i zakres naprawy określa się dla każdego elementu indywidualnie po jego oczyszczeniu i usunięciu uszkodzonych fragmentów drewna.

W związku z takim trybem prac właściwym jest określenie zasad i metod rewaloryzacji konstrukcji.

Przedstawione niżej zasady i metody mają charakter podstawowy i obrazują sytuacje, do których należy dążyć w odniesieniu do całej konstrukcji. W trakcie prac należy liczyć się z koniecznością modyfikacji rozwiązań wzorcowych i opracowywania na bieżąco potrzebnych detali. Stąd niezwykle ważne będą doświadczenie i rzetelność wykonawcy oraz jego umiejętność rozwiązywania typowych sytuacji remontowych w konstrukcjach drewnianych.

Remont konstrukcji powinien być prowadzony logicznie określonymi małymi partiami. Prace powinny być prowadzone zgodnie z następującym schematem:

technology and materials with high generation joints, like adhesive joints aided by mechanical connectors.

It is not rare, that due to various types and degree of damage to particular structural elements, all the details of repair for the elements cannot be precisely specified in the design. In such cases, the method and the scope of repair works for each element is determined individually after cleaning and removal of damaged wood fragments.

Due to this nature of works it is proper to define rules and methods for structure revalorization. They are presented below and depict situations related to entire structures. It may also be necessary to consider modifications of standard solutions and elaborate details systematically. Thus, experience, professionalism and capability of the contractor to face typical problems of wooden structures repair are extremely important.

Repair of a structure has to be carried out in a logical way by small steps. The works should follow the presented scheme:

1. Static analysis of a given extracted fragment of structure and its protection ensuring stability and load bearing capacity, also in relation to the entire structure.
2. Partial or total (depending on the situation) disassembly of elements in the extracted structure fragment and assessment of their technical state, in particular the range of material destruction.
3. Cleaning, elimination of mould and removal of destroyed fragments of material from structural elements.
4. Individual choice of repair or reconstruction method for each element.
5. Repair of elements and filling losses by inserts, placing wood-like mass or exchange of destroyed tips of beam elements.
6. Restoring of missing or totally destroyed structural elements.
7. Proofing against mould, fungi, insects and fire protection.
8. Re-assembly of elements or structural fragments.
9. Aesthetic works aimed at restoration of elements, fragments or structural decor.

Revalorization of a structure has to be started with tidying up. For instance, attics are frequently filled with unnecessary objects, litter, bird excrements, insects, equipment, etc. Such conditions stimulate progress of biological destruction of wood and hinder a proper recognition of technical state of elements.

The most important task in repair of roof structures and floor beams is to restore original cross-sections and load bearing capacity. The works must commence with removal of destroyed fragments of wood and filling the losses with new wood by glueing aided with mechanical connectors like special nails (of ring or screw type) or screws. Epoxy or polyurethane adhesives are to be used.

One of important issues, from the practical point of view, is repair of wooden beam structures, e.g. exchange of destroyed tips of floor beams or rafters affected by biological corrosion. Simple methods of connection between a new tip and an old beam section by means

1. Analiza statyczna danego wyodrębnionego fragmentu konstrukcji oraz jego zabezpieczenie gwarantujące stateczność i nośność danego fragmentu oraz całości konstrukcji.
2. Częściowy lub całkowity (w zależności od sytuacji) demontaż elementów w wyodrębnionym fragmencie konstrukcji i ocena stanu technicznego elementów, w szczególności zakresu destrukcji materiału.
3. Oczyszczenie, odgrzybienie i usunięcie zniszczonych partii materiału z elementów konstrukcyjnych.
4. Indywidualne dla każdego elementu określenie sposobu jego naprawy lub rekonstrukcji.
5. Naprawa elementów i uzupełnienie ubytków przez flekowanie, nakładanie mas drewnopodobnych oraz wymiany zniszczonych końcówek elementów belkowych.
6. Odtworzenie brakujących lub całkowicie zniszczonych elementów konstrukcji.
7. Prace impregnacjne przeciw pleśniom, grzybom, owadom i ogniochronne.
8. Ponowny montaż elementów lub fragmentów konstrukcji.
9. Prace estetyzujące mające na celu przywrócenie wystroju elementów, fragmentów lub całego obiektu.

Rewaloryzację konstrukcji należy rozpocząć od prac porządkowych. Na przykład na poddaszach często zalegają różnego rodzaju niepotrzebne przedmioty i śmieci, odchody ptaków, szkielety małych zwierząt, zniszczone przez grzyby i owady elementy wyposażenia itp. Taki stan poddasza stwarza warunki dogodne do rozwoju biologicznej destrukcji drewna, a ponadto utrudnia właściwe rozpoznanie stanu technicznego elementów.

W pracach remontowych więźby dachowej i belkowania stropu najważniejszym zadaniem jest odtworzenie pierwotnych przekrojów i nośności elementów belkowych. Prace należy wykonać przez usunięcie zniszczonych partii drewna i jego uzupełnienie nowym drewnem za pomocą klejenia i łączników mechanicznych takich jak gwoździe specjalne (pierścieniowe lub śrubowe) lub wkręty. Do klejenia należy stosować kleje epoksydowe lub poliuretanowe.

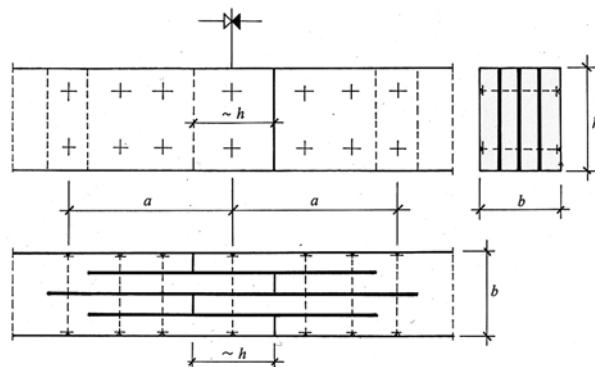
Jednym z zagadnień ważnych z praktycznego punktu widzenia jest naprawa belkowych konstrukcji drewnianych, np. wymiana zniszczonej końcówki belki stropowej, krokwi itp. na skutek korozji biologicznej. Od dawna stosowane są proste metody połączenia nowej końcówki belki z belką starą za pomocą różnego rodzaju nakładek drewnianych, profili stalowych itp. Stosowanie tych rozwiązań jest technicznie skuteczne, lecz prowadzi na ogół do zmiany wyglądu naprawionych elementów, zmiany schematów statycznych, zastosowania materiałów odmiennych od oryginału itp. Takie rozwiązania nie mogą być stosowane w obiektach zabytkowych, w których obok architektury i wystroju również sama konstrukcja ma wartość zabytkową. W przypadku naprawy takiej konstrukcji należy bowiem zachować kształty i wygląd elementów, schematy statyczne, materiał itp.

Jedną z metod opracowanych przez autora i wdrożonych do praktyki jest połączenie klejone na zwiđlowanie

of wooden cover plates, steel profiles, etc, are used for a long time. They are effective but usually lead to a change of outlook of repaired elements, change of static scheme and involve materials differing from the original one. Such an approach cannot be used in historic buildings, where not only architecture and decor but the structure itself is of historic value.

One of the methods elaborated by the author and introduced in practice uses adhesive finger joints reinforced with steel plates, presented in figs. 1–4 [5].

There are 2 or 3 steel plates in the joint, with length equal to 4 beam depths and a longer central plate with length 6 times the beam depth. The plate thickness is 4–6 mm. Immediately before inserting, the plates must be sanded and degreased. Epoxy solvent-free adhesive with low viscosity and liquid consistence should be used. After a fit test of the joint elements should be disassembled and both sides of steel plates and wood surfaces should be covered with adhesive. Then, after the assembly, lower and lateral slots have to be sealed and joints filled with liquid epoxy adhesive. Care should be taken to fill the gaps entirely with adhesive and to remove all



Ryc. 1. Połączenie belek na zwiđlowanie wzmocnione pionowymi blachami stalowymi wklejonymi w drewno

Fig. 1. Finger joint for beams reinforced with vertical steel plates glued into wood



Ryc. 2. Końcówka starej belki przygotowana do połączenia na zwiđlowanie wzmocnione pionowymi blachami stalowymi

Fig. 2. Tip of old beam prepared for finger joint reinforced with vertical steel plates



Ryc. 3. Połączenie belek na zwidłowanie wzmacnione pionowymi blachami stalowymi przygotowane do zalania żywicą epoksydową  
Fig. 3. Finger joint reinforced with vertical steel plates in beam ready for filling with epoxy resin

wzmocnione blachami stalowymi, przedstawione na ryc. 1–4 [5].

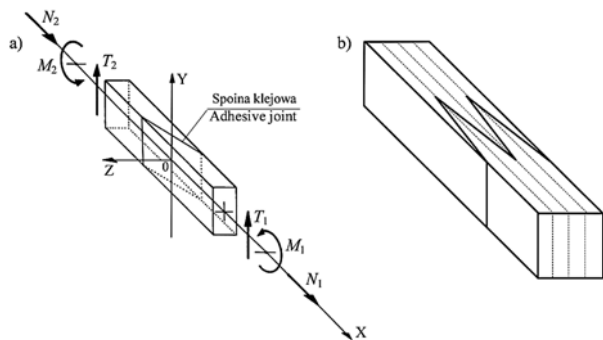
W złączu stosuje się 2 lub 3 blachy stalowe, których długość powinna wynosić 4 wysokości belki oraz dłuższa blacha środkowa, której długość powinna wynosić 6 wysokości belki. Grubość blachy stalowej przyjąć 4–6 mm. Bezpośrednio przed wklejeniu blachy stalowe powinny być piaskowane i odtłuszczone. Należy stosować klej epoksydowy bezrozpuszczalnikowy o małej lepkości i konsystencji płynnej. Po wykonaniu próbnego montażu złącza, elementy rozmontować, obie powierzchnie blach stalowych i powierzchnie drewna starannie posmarować klejem, następnie po zmontowaniu złącza należy uszczelnić dolne i boczne szczeliny i zalać spoiny płynnym klejem epoksydowym. Zadbaj, by klej całkowicie wypełnił spoiny i by w spoinach nie było pęcherzy powietrza. Tę samą konstrukcję złącza można zastosować w przypadku połączenia dwóch belek w przeszle. Prawidłowo wykonane złącze gwarantuje nośność litego przekroju zdrowej belki drewnianej o tych samych wymiarach.

Bardzo korzystnym pod względem wytrzymałościowym sposobem wykonania złącza elementów belkowych tak, by element naprawiony zachował pierwotny kształt, wygląd, materiał, schemat statyczny oraz wytrzymałość jest wykonanie klejonego złącza ukośnego – ryc. 5. Złącze to jest opracowane pod względem teoretycznym [6] i jest w trakcie badań doświadczalnych.

W większości przypadków po lokalnym zabezpieczeniu stateczności konstrukcji usuwa się zniszczone partie drewna i uzupełnia się ubytki za pomocą nowego drewna dopasowanego i wklejonego w miejsca ubytków. Uszkodzone partie drewna usuwa się przez ociosanie. Ubytki drewna uzupełnia się za pomocą drewna w postaci listew, desek, łat lub fleków. Kształty i wymiary nowych elementów drewnianych opracowuje się w każdym przypadku indywidualnie. Nowe drewno można łączyć z drewnem starym za pomocą kleju poliuretanowego jeśli na powierzchni styku elementów szerokość szczeliny nie przekracza 0,3 mm. Taka sytuacja występuje jednak bardzo rzadko, gdyż dokładne dopasowanie elementów można uzyskać za pomocą precyzyjnej obróbki. W praktyce na budowie między łączonymi elementami na ogół występuje szczelina o nierównych brzegach i zróżnicowanej szerokości. W takiej sytuacji należy stosować klej epoksydowy, który



Ryc. 4. Wykonane połączenie belek na zwidłowanie wzmacnione pionowymi blachami stalowymi  
Fig. 4. Completed finger joint between beams reinforced with vertical steel plates



Ryc. 5. Klejone złącza ukośne w belkach drewnianych: a) – złącze ukośne i jego obciążenie, b) – złącza ukośne w belce szerokiej [6]  
Fig. 5. Scarf adhesive joint in wooden beams: a) – scarf joint and its loading, b) – scarf joints in a wide beam [6]

air bubbles. The same joint type can be used when two beams are connected in the span. A properly constructed joint guarantees a load bearing capacity of the solid beam made of healthy wood of the same dimension.

From the point of view of material strength a very efficient type of joint for beam elements preserving original shape, outlook, material static scheme and load bearing capacity is a scarf adhesive joint – fig. 5. Such a joint is already analyzed theoretically [6] and its practical application is in the testing stage.

In the majority of cases, having locally ensured structural stability, destroyed fragments of wood can be removed and the losses are filled by glueing new fitting wood pieces. Damaged fragments of wood are removed by hewing. The losses are filled by slats, planks, patches or inserts. Shapes and dimensions of new wood elements are determined individually. New wood can be connected with the old one by polyurethane glue if gap width does not exceed 0.3 mm. Such cases are encountered very rarely, though. In practice, the in-situ cases feature gaps with uneven edges and varying width. In such situations epoxy adhesive must be used, which has a capability to fill larger spaces. Appropriately chosen mechanical connectors (screw shanks or ring shanks) can be introduced, too. To this end the loss spot is prepared by processing the mating surface of old wood, which has to be proofed against insects and fungi with solvent preparation free of oily substances before inserting the new wood. In an element under compression the insert in the repaired element has

ma zdolność wypełniania większych przestrzeni, oraz odpowiednio dobrane łączniki mechaniczne (wkręty lub gwoździe specjalne – śrubowe lub pierścieniowe). W tym celu przygotowuje się miejsce ubytku przez opracowanie powierzchni kontaktu drewna starego z drewnem nowym. Przed wklejeniem nowego drewna miejsce ubytku w elemencie starym należy impregnować preparatem owadobójczym i grzybobójczym rozpuszczalnikowym bez zawartości substancji oleistych. Istotne jest rozróżnienie, czy naprawiany element jest ściskany, czy rozciągany. W elemencie ściskany, w odciążonej konstrukcji, flek powinien być wklejony w element w sposób ciasny, by był zdolny włączyć się do współpracy w przenoszeniu naprężeń ściskających i tak by się klinował w naprawianym elemencie. W elementach rozciąganych nawet ciasno założony flek nie włączy się do przenoszenia naprężeń rozciągających. W takich sytuacjach, o ile jest to konieczne ze względów wytrzymałościowych, należy strefę lokalnego dużego ubytku uzupełnić nowym drewnem i dodatkowo „przeszyć” np. za pomocą prętów stalowych wklejonych na dostatecznej długości w zdrowe drewno po obu stronach wklejonego fleku. Pręty stalowe należy wklejać w drewno za pomocą żywicy epoksydowej, np. Epidian 57 z utwardzaczem PAC. Bezpośrednio przed wklejeniem elementy stalowe muszą być piaskowane i odtłuszczone. Po odtworzeniu przekroju elementu opracowuje się jego kształt za pomocą strugania lub szlifowania. W uzasadnionych przypadkach uszkodzone partie drewna nie muszą być usuwane i mogą być wzmocnione strukturalnie za pomocą żywic o małej lepkości.

Połączenia między elementami wzoruje się na połączeniach w konstrukcji pierwotnej.

Podczas prac należy zabezpieczyć obiekt przed wodą opadową i zapewnić stałe działanie instalacji odgromowej.

Po zakończeniu prac o charakterze konstrukcyjnym należy wykonać prace impregnacyjne w celu zabezpieczenia elementów przed dalszą destrukcją biologiczną oraz impregnację ogniochronną. Zamiast preparatów solnych zaleca się stosowanie preparatów rozpuszczalnikowych, które głębiej wnikają w drewno i są skuteczniejsze. Preparaty rozpuszczalnikowe są jednak łatwopalne oraz toksyczne. Należy zatem zachować szczególną ostrożność oraz ściśle przestrzegać zasad BHP w trakcie i po ich zastosowaniu.

Ze względu na ochronę elementów stropu poddasza przed zawilgoceniem nie zaleca się stosować do ich impregnacji preparatów solnych, gdyż są one higroskopijne i mogą mieć niekorzystny wpływ na polichromię. Również niewłaściwe zastosowanie preparatów rozpuszczalnikowych do impregnacji desek polichromowanych może mieć negatywne skutki, gdyż preparat rozpuszczalnikowy może przesiąknąć deskę na całą grubość i uszkodzić polichromię. Z tego powodu impregnację polichromowanych desek w stropie poddasza powinien wykonywać konserwator polichromii.

Obszary prac należy określać w taki sposób, by przez cały okres robót obiekt miał dostateczną sztywność oraz nośność lokalną i globalną.

to be tightly fitting to participate in transmission of compressive stress and to be blocked. In elements under tension even a tightly fitting insert will not take part in transmission of stresses. Then, if it is necessary from the point of view of load bearing capacity, the zone with a large wood loss has to be filled with new wood and additionally sewn, e.g. by means of steel bolts inserted into healthy wood at appropriate anchor length at both sides of the insert. The steel bolts have to be glued to wood with epoxy resin, e.g. Epidian 57 with PAC hardener. Immediately before glueing the steel elements have to be sanded and degreased. After restoring of the element cross-section its final shape is formed by planing and polishing. In justified cases damaged fragments of wood may be left untouched and can be structurally reinforced by resins of low viscosity.

Joints between elements have to resemble the original joints.

During works the structure has to be protected against precipitation water and continuous lightning arrester action has to be ensured.

Having completed the works of structural type, proofing works have to be carried out to protect elements against further biological degradation and fire. It is recommended to use solvent preparations which penetrate wood deeper and are more efficient than salt ones. However, the solvent preparations are inflammable and toxic. Thus, special care must be taken and health and safety regulations must be observed during works and afterwards.

Due to protection of attic floor elements against moisture, salt preparations are not recommended, because they are hygroscopic and can affect polychromy. Improper use of solvent preparations for proofing of wood planks with polychromy can lead to negative results, too. Such a preparation can penetrate the entire depth of a plank and damage the polychromy. That is why proofing in such elements has to be carried out by a conservator.

Works zones have to be determined in such a way, that the repaired structure has ensured sufficient stiffness and local and global load bearing capacity for the whole period of works.

## 5. RESTORING OF FLOOR BEAMS CROSS-SECTIONS WITH SURFACE DAMAGE

In this chapter wooden beams in attic floors of churches are considered. Usually floor beams obtained from a log sawn on four sides have an approximately rectangular cross-section. Frequently, instead of sharp corners beams feature wanings. Sapwood at external surfaces of beams is softer and with larger water content than internal heartwood. Thus, sapwood deteriorates more frequently due to action of insects – technical wood parasites. Figure 6 presents an example of beams damaged along their entire length – they come from St. Aegidius Church in Czerwona Wieś. The structure shown in the picture was just under repair works. The



## 5. ODTWARZANIE PRZEKROJÓW BELEK STROPOWYCH USZKODZONYCH POWIERZCHNIOWO

Przedmiotem rozważań są belki drewniane w stropach poddaszy w obiektach sakralnych. Belki stropowe otrzymywane z kłody przetartej z czterech stron na ogół miały przekrój zbliżony do kwadratu. Często zamiast ostrych naroży w belce występowały obliny (offlisy). Drewno bielaste znajdujące się przy zewnętrznych powierzchniach belki było bardziej miękkie i wilgotne niż wewnętrzne drewno twarde. Z tego powodu zewnętrzne drewno bielaste w belkach częściej ulegało destrukcji w wyniku żerowania owadów – technicznych szkodników drewna. Na ryc. 6 pokazany jest przykład belek uszkodzonych na całej długości w kościele pw. św. Idziego w Czerwonej Wsi. Pokazany na ryc. 6 obiekt był w trakcie remontu. Na belkach nie było już więźby dachowej, nie było podłogi, a pod belkami znajdowało się sklepienie ceglane.

W tym przypadku, zamiast naprawiać istniejące belki, łatwiej, szybciej i taniej było wymienić uszkodzone belki na nowe. Nie wszędzie jednak sytuacja była tak prosta. Na przykład w drewnianym kościele pw. św. Józefa w Kicinie (ryc. 7) strop nad prezbiterium i nawą wykonany był z belek drewnianych o przekroju  $24 \times 24$  cm.

Belki stropowe były powierzchniowo uszkodzone przez owady, głównie w częściach bielastych, podobnie jak na ryc. 6. Pozostały po ociosaniu zdrowy przekrój belek miał kształt owalny. Wskaźnik wytrzymałości belek na zginanie zmniejszył się o ok. 45%. Lokalnie występowały znaczne uszkodzenia belek na skutek zawilgocenia przez nieszczelne pokrycie dachowe. Pod belkami była przybita podsufitka oraz polichromowane płyciny drewniane. Uszkodzone były również końcówki krokwi na podporach oraz górne balle oczepowe w drewnianych ścianach wieńcowych. Zdecydowano, że przekroje belek stropowych zostaną odtworzone bez wykonywania prac rozbiórkowych dachu, demontażu podsufitki i polichromowanych płycin plafonu. Podczas prac kościoł był cały czas pod dachem.



Ryc. 6. Przykład powierzchniowego uszkodzenia belek stropowych spowodowanego przez owady – techniczne szkodniki drewna (kościół pw. św. Idziego w Czerwonej Wsi)

*Fig. 6. Examples of surface damage to floor beams caused by insects – technical parasites of wood (St. Aegidius Church in Czerwona Wieś)*

beams did not support the roof structure and underneath a masonry vaulting was present.

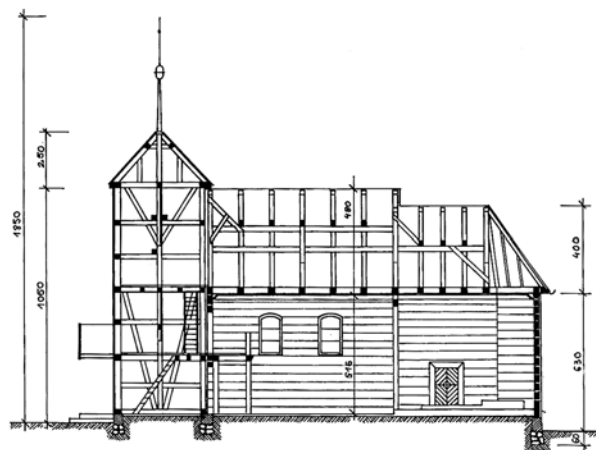
In this case, instead of repair of existing beams, it was easier, faster and cheaper to replace them with new ones. However, such a simple situation is not always a case. For instance, in the wooden St. Joseph Church in Kicin (fig. 7) the ceiling over the chancel and the aisle was made from wood beams of  $24 \times 24$  cm.

The floor beams were damaged on surface by insects, mostly in sapwood zone, similarly as in fig. 6. The beam cross-section after hewing was oval shaped. The bending strength index of beams was reduced by approx. 45%. Severe local damage of beams due to moisture caused by a not water-tight roof was found, too. A false ceiling and polychromed wooden plates were nailed to the beams. Tips of rafters at supports as well as upper girt barks in wooden curb walls were damaged, too. It was decided to restore the beams cross-sections without a disassembly of the roof, the false ceiling and the polychromed plafond. Thus, the church remained covered by the roof during the works.

Repair of floor beams included removal of damaged wood by hewing and profiling the remained healthy fragments of beams, so that the losses could be filled with planks and barks with length equal to the beam length. New wood was glued to cores of the old beams by epoxy adhesive and additionally secured by screws. Surfaces of reconstructed beams were smoothed and fitting colours were chosen. The final effect of the restoration is presented in fig. 8. These works required much care. The fragment of the attic floor after repair of beams and other damage is shown in fig. 9.

## 6. RECONSTRUCTION OF FLOOR BEAMS TIPS IN PARISH CHURCH IN POZNAŃ

One of tasks within the wide scope of repair works carried out on the roof structure of Parish Church in Poznań was reconstruction of support tips of two floor beams located along the front wall – fig. 10.



Ryc. 7. Przekrój podłużny przez kościół pw. św. Józefa w Kicinie  
*Fig. 7. Longitudinal section of St. Joseph Church in Kicin*



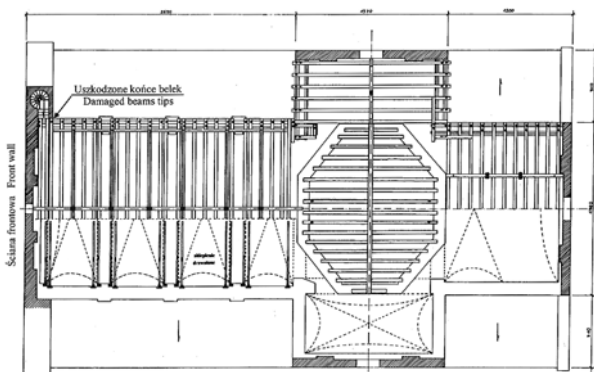
Ryc. 8. Przykład rekonstrukcji przekroju belki stropowej (kościół pw. św. Józefa w Kicinie)

Fig. 8. Example of restoring of floor beam cross-section (St. Joseph Church in Kicin)

Naprawa belek stropowych polegała na usunięciu uszkodzonego drewna przez ociosanie i wyprofilowanie pozostałych zdrowych części belek w taki sposób, by ubytki drewna można było uzupełnić nowymi elementami w postaci desek i kantówek o długościach równych długości belek. Nowe drewno zostało przyklejone do rdzeni starych belek przy użyciu kleju epoksydowego oraz dodatkowo mocowane wkrętami. Powierzchnie zrekonstruowanych belek zostały wyrównane i scalone kolorystycznie. Efekt końcowy odtworzenia przekroju belki pokazany jest na ryc. 8. Wykonanie tej pracy wymagało od dużej staranności. Fragment stropu poddasza po naprawie belek oraz innych uszkodzeń pokazany jest na ryc. 9.

## 6. REKONSTRUKCJA KOŃCÓW BELEK STROPOWYCH W KOŚCIELE FARNYM W POZNANIU

Jednym z zadań, w bardzo obszernym zakresie prac wykonanych na więźbie dachowej kościoła farnego w Poznaniu, była rekonstrukcja końców przypodporowych dwóch belek stropowych leżących wzdłuż ściany frontowej kościoła – ryc. 10.



Ryc. 10. Rzut belkowania stropu poddasza w kościele farnym w Poznaniu

Fig. 10. Plan view of attic floor beams in Parish Church in Poznań



Ryc. 9. Fragment zrekonstruowanego stropu poddasza (kościół pw. św. Józefa w Kicinie)

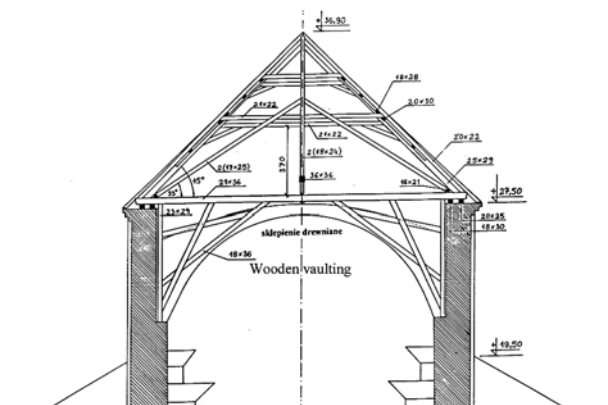
Fig. 9. Fragment of reconstructed attic floor (St. Joseph Church in Kicin)

The treated beams have 29 cm × 36 cm cross-section and length of about 17.6 m. They are supported at sleepers laid on walls, wooden columns at the aisle walls and at 4 braces at their span. At the midpoints they are hanging at the hanger system running along the aisle (fig. 11).

Support fragments of beams were damaged at about 2 m length by insects and house fungus – fig. 12. The tip of Beam 1 was totally destroyed and the beam lost its support on the column. In the case of Beam 2 over half of the cross-section was damaged and the support was only partial. The top of the column under Beam 1 was damaged, too.

The floor beams and struts constitute a load-bearing structure for a wooden pseudo-vaulting, which is richly decorated from beneath with precious stuccowork and polychromy. That is why the stability of the system could not be compromised during repair works. Thus, it was decided to restore the damaged beam tips by methods which did not require any disassembly.

The tip of Beam 1 was restored in several stages. First, destroyed fragments of wood were removed by hewing and proofing against mould, fungi and insects was carried out using solvent preparations without oily substances. All irregular healthy fragments of wood were



Ryc. 11. Przekrój poprzeczny przez nawę główną kościoła farnego w Poznaniu

Fig. 11. Section across the principal aisle of Parish Church in Poznań

Rozważane belki mają przekrój 29 cm × 36 cm i długość ok. 17,6 m. Oparte są na podwalinach leżących na ścianach, drewnianych słupach ustawionych przy ścianach nawy oraz w przęśle na 4 zastrzałach. W środku rozpiętości belki są podwieszane do układu wieszakowego biegnącego wzdłuż nawy – ryc. 11.

Przypodporowe odcinki belek zostały uszkodzone na długości ok. 2 m przez owady i grzyb domowy – ryc. 12. Koniec belki 1 uległ całkowitej destrukcji i belka straciła oparcie na słupie. W belce 2 uszkodzeniu uległa ponad połowa szerokości przekroju i belka opierała się na słupie tylko częściowo. Uszkodzeniu uległ również górny koniec słupa pod belką 1.

Belki stropowe oraz zastrzały stanowią konstrukcję nośną dla drewnianego pseudosklepienia, które od spodu jest bogato zdobione cennymi sztukateriami i polichromia-



Ryc. 12. Uszkodzone końce belek nad nawą kościoła farnego w Poznaniu

Fig. 12. Damaged tips of beams over the aisle of Parish Church in Poznań



a)



b)



c)

Ryc. 13. Wzmocnienie strefy podporowej belki 1 z ryc. 12 za pomocą prętów stalowych i odtworzenie przekroju drewna drzazgami drewnianymi spojonymi masą złożoną z żywicy epoksydowej i pyłu drzewnego

Fig. 13. Reinforcing of support section of Beam 1 from fig. 12 by means of steel bars and restoring wooden cross-section by wooden splinters bound by mass of epoxy resin and wood dust

mi. Z tego powodu stabilność układu nośnego dla pseudosklepienia nie mogła być podczas prac remontowych w najmniejszym stopniu naruszona. Zdecydowano zatem, że uszkodzone końce belek zostaną odtworzone metodami nie wymagającymi jakichkolwiek prac rozbiórkowych.

Koniec belki 1 został odtworzony w kilku etapach. Najpierw usunięto zniszczone partie drewna przez ociosanie i wykonano impregnację drewna przeciw pleśnion, grzybom i owadom stosując impregnaty rozpuszczalnikiowe bez zawartości substancji oleistych. Wszystkie nieregularne zdrowe fragmenty drewna zostały zachowane. W ten sposób uzyskano dużą powierzchnię kontaktu starego drewna z nowym materia-

preserved. In this way a large area of contact between old and new wood filling the cross-sectional losses was achieved. Then, along the section destined for restoring ribbed steel bars of Ø 18 were glued into healthy wood just at the damaged tip (fig. 13a).

The missing wood in the damaged fragment of beam was replaced by an adhesive mixture formed from epoxy resin and wood dust (figs. 13b, c). Wooden splinters were initially placed in a prepared channel fitting to the beam cross-section. In the restored cross-section the splinters were tightly placed to fill about 80% of the cross-section. The remaining section was composed from the resin mass with wood dust.

łem wypełniającym ubytki w przekroju belki. Następnie na długości przewidzianej do rekonstrukcji zostało wklejone zbrojenie z prętów stalowych żebrowanych  $\varnothing 18$ . Zbrojenie wklejono w zdrową część belki tuż przy uszkodzonym końcu (ryc. 13a).

Brakujące drewno w uszkodzonej części belki uzupełniono za pomocą drzazg drewnianych spojonych masą klejową złożoną z żywicy epoksydowej i pyłu drzewnego (ryc. 13b, c). Drzazgi drewniane ułożono we wcześniej przygotowanym korytku o przekroju zgodnym z przekrojem belki. W odtworzonym przekroju drzazgi drewniane zostały ułożone ciasno i wypełniają ok. 80% przekroju belki. Resztę przekroju stanowi masa żywiczna z pyłem drzewnym.

Koniec belki 2 odtworzono przez odcięcie części uszkodzonej i zastąpienie jej nowym odcinkiem belki połączonym z belką starą na zwidłowanie wzmocnione pionowymi blachami stalowymi wklejonymi w drewno.

Obie naprawione belki pokazane są na ryc. 14.

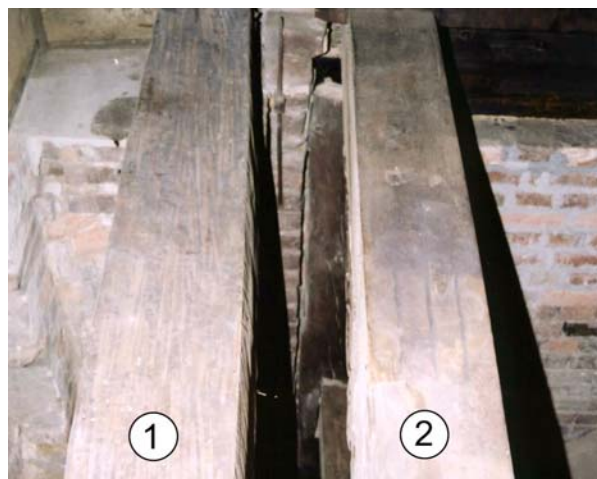
## 7. REKONSTRUKCJA STREFY PODPOROWEJ WIĄZARÓW DACHOWYCH I STROPU PODDASZA W KOŚCIELE PW. WSZYSTKICH ŚWIĘTYCH W POZNANIU

W przestrzeni poddasza kościoła pw. Wszystkich Świętych w Poznaniu można wyróżnić trzy różne drewniane układy konstrukcyjne. W centralnej części kościoła usytuowane są główne więzary dachowe i podwieszona do nich pseudokopuła. Nad skrzydłami bocznymi budynku znajduje się belkowy strop poddasza – ryc. 15, 16.

Na skutek uszkodzeń pokrycia dachowego, które miały miejsce w trakcie wieloletniego użytkowania obiektu, niektóre elementy konstrukcyjne więzarów dachowych i stropu poddasza ulegały długotrwałemu zawilgoceniu. W wyniku tego nastąpiła destrukcja drewna spowodowana działaniem pleśni, grzybów i owadów. Przykładem jest węzeł konstrukcyjny pod krokwią koszową przy wieży wskazany na ryc. 15 i pokazany na ryc. 17.

Prawie całkowitemu zniszczeniu uległy fragmenty elementów stropowych, takich jak belki podwalinowe, belki stropowe oraz płatew stopowa. W znacznym stopniu uszkodzeniu uległy również końcówki słupów leżących i krokwi w więzarach pełnych. Zniszczone odcinki belek zostały odtworzone za pomocą drewna klejonego warstwowo – ryc. 18. Przyjęta technologia wynikała z konieczności stopniowego odtwarzania elementów i ich właściwego połączenia z nieuszkodzonym materiałem w starej części konstrukcji.

W sąsiednim obszarze stropu zaznaczonym na ryc. 15 ujawniło się działanie grzyba domowego, który spowodował niebezpieczne zniszczenia końcówek belek stropowych oraz belek podwalinowych pokazane na ryc. 19 i 20. Do rekonstrukcji zniszczonych fragmentów belek zastosowano opisaną wyżej technologię drewna klejonego warstwowo. Fragment stropu po naprawie przedstawiony jest na ryc. 21 i 22.



Ryc. 14. Zrekonstruowane końcówki belek stropowych z ryc. 12. Belka 1 wzmocniona i odtworzona zgodnie z ryc. 13, w belce 2 nową końcówkę połączono z belką starą na zwidłowanie z użyciem blach stalowych

Fig. 14. Reconstructed floor beam tips from fig. 12. Beam 1 is reinforced and restored according to fig. 13, in Beam 2 new tip was connected with old beam by finger joint with steel plates

The tip of Beam 2 was restored by cutting the damaged fragment and replacing it with a new beam section connected with the old beam by a finger joint reinforced with vertical steel plates glued into wood.

Both repaired beams are presented in fig. 14.

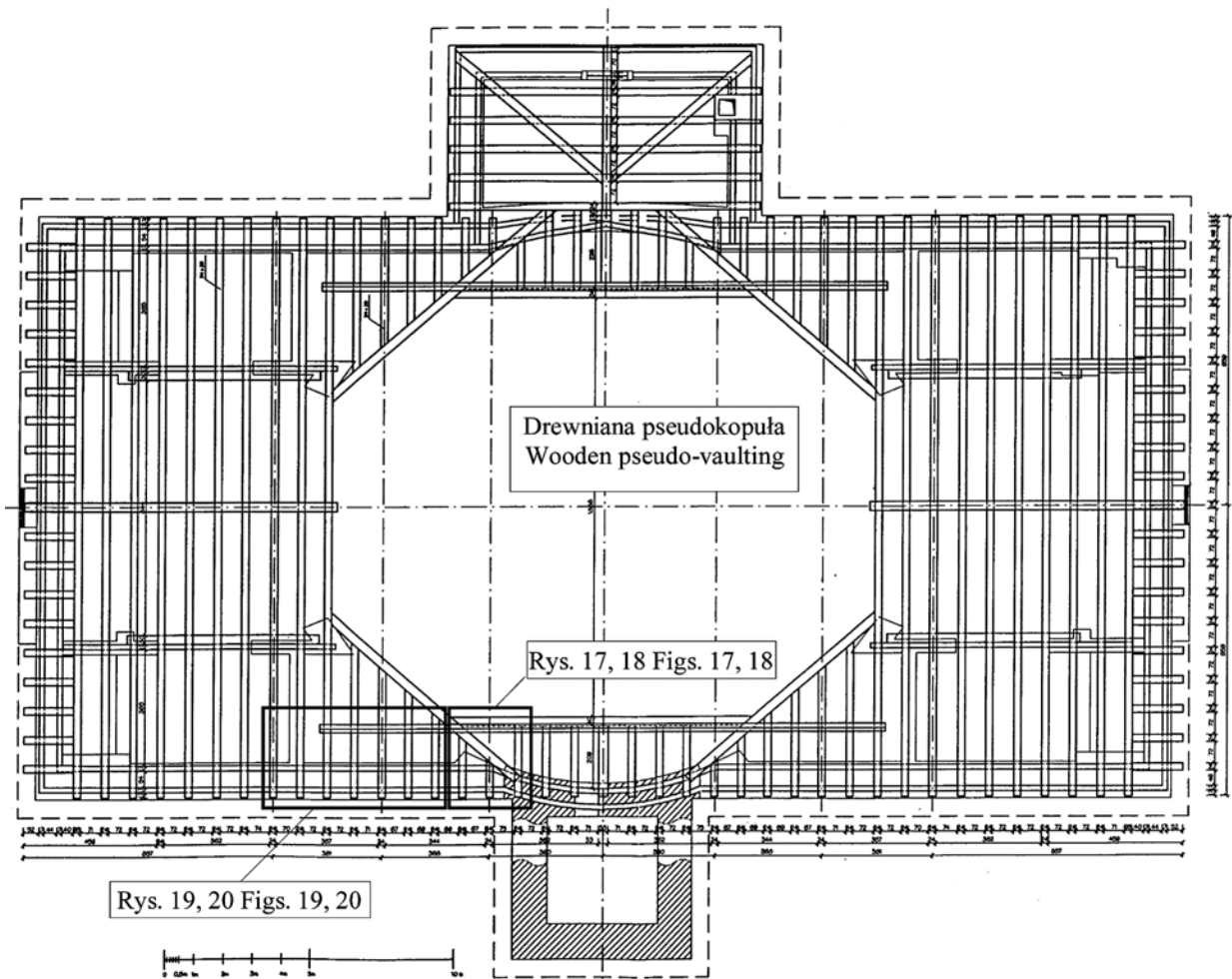
## 7. RECONSTRUCTION OF SUPPORT FRAGMENTS OF ROOF TRUSSES AND ATTIC FLOOR IN ALL SAINTS CHURCH IN POZNAŃ

There are three different structural systems in the attic of All Saints Church in Poznań. The main roof trusses are located in the central part of the church. A pseudo-vaulting is hanging under them. The sides of the building are covered with beam attic floor – figs. 15, 16.

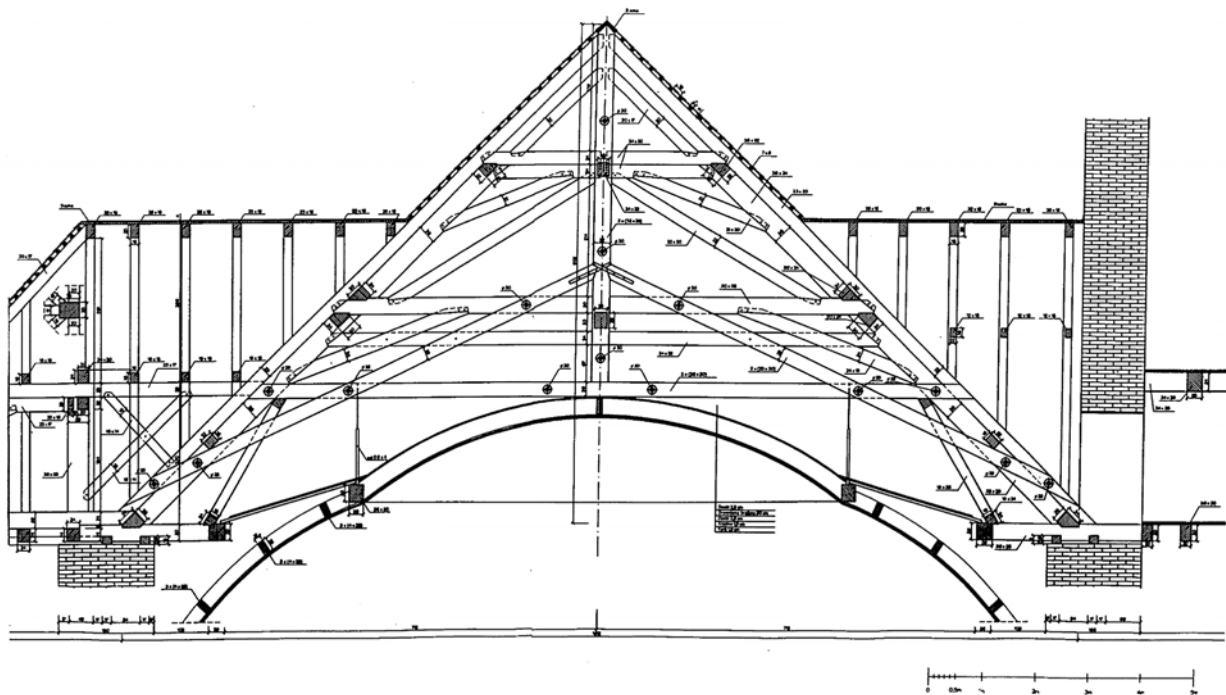
Due to damage to roof covering, which took place during many years of service, some structural elements of roof trusses and attic floor suffered a long-term action of moisture. This was the reason for wood destruction by mould, fungi and insects. A joint under the valley rafter at the tower indicated in fig. 15 and presented in fig. 17 is a good example.

Fragments of floor elements like ground beams, floor beams and floor purlin suffered almost complete destruction. Tips of liegender stuhl elements and rafters in main trusses were severely damaged, too. The damaged sections of beams were restored with wood glued layer-wise – fig. 18. The chosen technology resulted from the necessity to restore the elements in stages and ensuring a proper connection with undamaged material of the old fragment of the structure.

In the neighbouring zone of the floor indicated in fig. 15 house fungus action was revealed. It led to a dangerous destruction of floor beams tips as well as



Ryc. 15. Rzut belkowania stropu poddasza w kościele pw. Wszystkich Świętych w Poznaniu  
 Fig. 15. Plan view of beams system of attic floor in All Saints Church in Poznań



Ryc. 16. Wiązary dachowy i przekrój przez pseudokopułę w kościele pw. Wszystkich Świętych w Poznaniu  
 Fig. 16. Roof truss and pseudo-dome section in All Saints Church in Poznań



Ryc. 17. Uszkodzona strefa podporowa wiaźara pełnego  
Fig. 17. Damaged support section of main truss



Ryc. 18. Zrekonstruowana strefa podporowa wiaźara pełnego z ryc. 17  
Fig. 18. Reconstructed support section of the main truss from fig. 17



Ryc. 19. Przykład uszkodzenia końcówki belki stropowej przez grzyb domowy  
Fig. 19. Example of damage to a floor beam tip due to house fungus



Ryc. 20. Przykład uszkodzenia końcówki belki stropowej przez grzyb domowy  
Fig. 20. Example of damage to a floor beam tip due to house fungus



Ryc. 21. Zrekonstruowane podwaliny i końcówki belek stropowych. Widok z góry  
Fig. 21. Reconstructed ground beams and floor beams tips – top view



Ryc. 22. Zrekonstruowane podwaliny i belki stropowe. Widok z dołu  
Fig. 22. Reconstructed ground beams and floor beams tips – bottom view

## 8. NAPRAWA USZKODZEŃ WIĘZBY DACHOWEJ W KOŚCIELE PW. ŚW. WOJCIECHA W POZNANIU

Wiązar pełny nad nawą kościoła pw. św. Wojciecha w Poznaniu pokazany jest na ryc. 23. W konstrukcji znajdującej się nad sklepieniem występują elementy wiązań storczykowych, płatwiowych i rozporowych z słupami leżącymi. Krokwie i słupy leżące z górnej części konstrukcji przechodzą niżej i zamykają dachy nad nawami bocznymi. Obciążenia z górnej części konstrukcji w większości powinny być przekazywane na wewnętrzne ściany podłużne. Jednak, głównie z powodu uszkodzenia belek podwalinowych, nastąpiły osiadania konstrukcji i przez krokwie

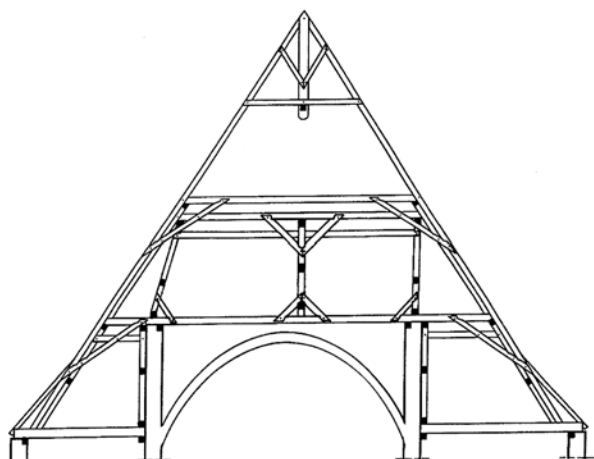
ground beams, as shown in figs. 19 and 20. Reconstruction of destroyed fragments of beams used the technology of layer-wise wood glueing mentioned above. A fragment of the floor after repair is shown in figs. 21 and 22.

## 8. REPAIR OF DAMAGE TO ROOF STRUCTURE IN ST. ADALBERT CHURCH IN POZNAŃ

The main truss over the aisle of St. Adalbert Church in Poznań is presented in fig. 23. There are elements of king-post truss, purlin truss and liegender stuhl truss.

przechodzące niżej obciążenia zostały przekazane na nawy boczne. Z tego powodu, oprócz deformacji pionowych, w nawach bocznych wystąpiły znaczne deformacje poziome prowadzące między innymi do złamania zastrzałów usztywniających konstrukcję – ryc. 24, 25.

Ze względu na ogromny ciężar więźby pokrytej dachówką w praktyce nie ma możliwości cofnięcia zaistniałych deformacji konstrukcji. W takiej sytuacji prace naprawcze muszą się ograniczyć do wzmocnienia lub



Ryc. 23. Przekrój poprzeczny przez konstrukcję dachu w kościele pw. św. Wojciecha w Poznaniu

Fig. 23. Transverse section of roof structure in St. Adalbert Church in Poznań



Ryc. 24. Złamany zastrzał w nawie bocznej

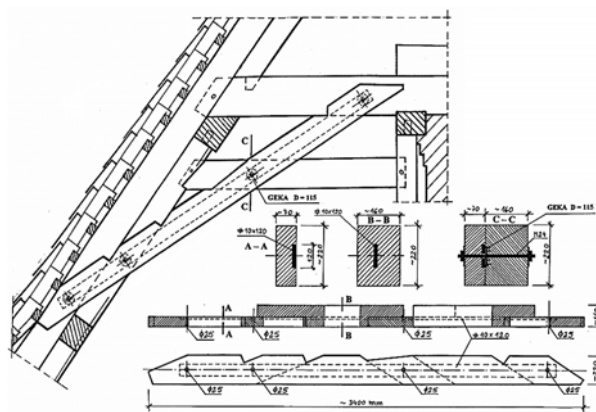
Fig. 24. Broken brace in side aisle

Rafters and liegender stuhl elements pass from the higher level to the lower level and close the roofs over side aisles. Loading from the upper structure should pass mainly onto internal longitudinal walls. However, due to ground beams damage, settlement of structure took place and loading through rafters going down passed onto the side aisles. That is why, besides vertical deformation, side aisles exhibited significant horizontal deformation which led to breaking of braces stiffening the structure – figs. 24, 25.



Ryc. 25. Złamany zastrzał w nawie bocznej

Fig. 24. Broken brace in side aisle



Ryc. 26. Koncepcja wzmocnienia zastrzału za pomocą wklejonego w drewno płaskownika stalowego

Fig. 26. Concept of brace reinforcing by a flat steel glued into wood



Ryc. 27. Zastrzały wzmocnione za pomocą wklejonych płaskowników stalowych

Fig. 27. Braces reinforced with flat steels glued in



Ryc. 28. Łączenie zastrzału z konstrukcją za pomocą pierścieni zębatych  
 Fig. 28. Connection between brace and structure with toothed rings



Ryc. 29. Wzmocniony zastrzał po zakończeniu montażu  
 Fig. 29. Reinforced brace after assembly



Ryc. 30. Zniszczona belka stropowa w węźle podporowym wiązara pełnego  
 Fig. 30. Destroyed floor beam at the support joint of the main truss

odtworzenia uszkodzonych elementów, przywrócenia prawidłowego sposobu przekazywania obciążeń na ściany i zatrzymania dalszych deformacji.

W związku z tym złamane zastrzały musiały być naprawione i wzmocnione w postaci odkształconej, gdyż w przeciwnym wypadku nie pasowały by do zdeformowanej konstrukcji więźby.

Złamane zastrzały zostały wzmocnione za pomocą stalowych płaskowników 10×100 wklejonych w drewno



Ryc. 31. Zrekonstruowane węzły podporowe – widok z lewej  
 Fig. 31. Restored support joints – left-side view



Ryc. 32. Zrekonstruowane węzły podporowe – widok z prawej  
 Fig. 32. Restored support joints – right-side view

Due to the huge weight of the roof structure covered with roof tiles, there was no practical possibility to remove the structural deformation. In such a case the repair works must be limited to reinforcing and restoring of damaged elements, return to the proper way of load passing to walls and stopping further deformation. That is why the broken braces had to be repaired and reinforced in the deformed configuration, otherwise they would not fit to the deformed roof.



przy użyciu kleju epoksydowego. Sposób wzmocnienia jest przedstawiony na ryc. 26 i 27. Usztywniające działanie zastrzału jest tym lepsze, im lepsze jest jego połączenie z konstrukcją, którą ma on usztywniać. W tym celu połączenia zastrzałów z konstrukcją zostały wzmocnione za pomocą jednostronnych pierścieni zębatych – ryc. 28. Widok konstrukcji po zamontowaniu wzmocnionego zastrzału przedstawiony jest na ryc. 29.

Oprócz przedstawionych wyżej przypadków naprawy złamanych zastrzałów, w kościele pw. św. Wojciecha w Poznaniu wykonano między innymi kompleksowe naprawy belek stropowych i stref podporowych w nawach bocznych. Dla przykładu na ryc. 30 pokazany jest zniszczony koniec belki stropowej w wiązarze pełnym. W tej belce oraz w belce sąsiedniej zniszczone końce wymieniono stosując złącza na zwińlowanie wzmocnione blachami stalowymi – ryc. 31, 32. Odtworzono również belki podwalinowe.

Dla poszerzenia wiedzy o naprawie i wzmocnianiu konstrukcji drewnianych w obiektach zabytkowych rekomenduje się pozycje literatury [1–4].

The broken braces were reinforced by steel flats 10×100 glued into wood using epoxy adhesive. The method of reinforcing is presented in figs. 26 and 27. The better is the brace connection to the stiffened structure, the more efficient is its stiffening action. To this end the joints between the braces and the structure were reinforced by single-sided toothed rings – fig. 28. The view of the structure with a reinforced brace is presented in fig. 29.

Besides the above mentioned repair of broken braces, St Adalbert Church in Poznań required an extensive repair of floor beams and support sections in side aisles. For instance, fig. 30 presents a destroyed floor beam tip in a main truss. This beam and an adjacent one had the destroyed tips replaced using finger joints with steel plates – figs. 31, 32. Ground beams were restored, too.

Positions [1–4] from bibliography are recommended to widen the knowledge about repair and reinforcing of wooden structures in historic buildings.

---

## LITERATURA / REFERENCES

- [1] Erler K., *Alte Holzbauwerke. Beurteilen und sanieren*, Beuth Verlag, 3 Auflage, 2010.
- [2] Jasięńko J., Rapp P., *Metody naprawy i wzmocniania zabytkowych konstrukcji drewnianych*, rozdział 2 [w:] *Zabytkowe budownictwo drewniane w Polsce – diagnostyka, stan techniczny, wzmocnienia, zabezpieczenia*, red. Z. Mielczarek, Wydawnictwo Uczelniane Politechniki Szczecińskiej, Szczecin 2008.
- [3] Jasięńko J., *Połączenia klejowe i inżynierskie w naprawie, konserwacji i wzmocnianiu zabytkowych konstrukcji drewnianych*, Dolnośląskie Wydawnictwo Edukacyjne, Wrocław 2003.
- [4] Mönck W., *Schäden an Holzkonstruktionen. Analyse und Behebung*, Verlag für Bauwesen, Berlin 1995.
- [5] Rapp P., *Klejone wzdlużne połączenia belek drewnianych w rewaloryzacji obiektów zabytkowych*, Zeszyty Naukowe PP, Nr 44, Budownictwo Łądowne, 1999, 51–59.
- [6] Rapp P., *Computational model of adhesive scarf joints in wooden beams*, *Drewno*, 2014, Vol. 57, No. 193, 5–35.
- [7] *International Charter for the Conservation and Restoration of Monuments and Sites (The Venice Charter 1964)*, II<sup>nd</sup> International Congress of Architects and Technicians of Historic Monuments, Venice, 1964.

---

## Streszczenie

W artykule przedstawiono metodykę oraz autorskie przykłady rewaloryzacji konstrukcji drewnianych w obiektach zabytkowych. Opisane metody mają charakter konserwatorski, polegający na odtworzeniu i przywróceniu nośności uszkodzonych elementów w taki sposób, by zachować kształt, wygląd, materiały i schematy statyczne konstrukcji. Pokazano i opisano przykłady rewaloryzacji silnie uszkodzonych elementów belkowych z zastosowaniem nowoczesnych technik i technologii, takich jak klejenie oraz wzmocnianie elementów za pomocą prętów lub blach stalowych.

## Abstract

The paper presents methodology and author's examples of revalorization of wooden structures in historic buildings. The methods described are of conservation type and consist of rebuilding and restoring the load bearing capacity of damaged elements preserving shapes, outlook, materials and static schemes. Examples of revalorization of severely damaged beam elements using modern techniques and technology like glueing and reinforcing with steel bars or plates were introduced and described.