

Paweł Mioduszeński*, Jerzy Jasieńko**, Tomasz Nowak***

Przekształcenia konstrukcji i przestrzeni dachowych założeń zabytkowych w świetle wykorzystania do nowych funkcji – na przykładzie dworu Sarny

Modification of roof structure and roof space of heritage buildings in relation to new uses – example of the Sarny Manor House

Słowa kluczowe: konstrukcje drewniane,
konserwacja, metoda elementów skończonych,
rewitalizacja

Key words: timber structures,
conservation, Finite Element Method,
revitalisation

1. WPROWADZENIE

Na przestrzeni ostatnich lat wiele zabytkowych zespołów rezydencyjno-parkowych w Polsce zostało przywróconych do ich dawnej świetności. Wzrost zainteresowania inwestorów zakupem zabytkowych posiadłości spowodowany był wyprzedają majątku przez spółki Skarbu Państwa oraz możliwością uzyskania funduszy na cele związane z rewitalizacją obiektów zabytkowych z Ministerstwa Kultury i Dziedzictwa Narodowego bądź z Unii Europejskiej. Wiele najcenniejszych pałaców i dworów zostało sprzedanych w stanie kompletnej ruiny, w wyniku wcześniejszych długotrwałych zaniedbań, aktów wandalizmu, kradzieży elementów konstrukcyjnych i detali architektonicznych. Nowi właściciele obiektów mają za zadanie nie tylko zabezpieczyć obecnie konstrukcje historyczne przed ich dewastacją, ale również podjąć próbę odbudowy i renowacji w zgodzie z doktrynami konserwatorskimi. Obecnie, na drodze rewitalizacji, wielu obiektom zabytkowym nadawane są nowe funkcje z zastosowaniem nowoczesnych technik

1. INTRODUCTION

In recent years numerous residential park-palace complexes have been restored to regain their past grandeur. The growing interest among investors concerning purchase of heritage buildings and residences is a result of state owned companies selling their assets and funds made available for the revitalisation of heritage buildings by the Polish Ministry of Culture and National Heritage or the European Union. Many of the precious palaces and manor houses were sold in a state of total ruin, which had resulted from long-term neglect, vandalism, theft of structural elements and architectural details. New owners are faced not only with the requirement of protecting the historical structures from destruction, but also with the task of restoring and renovating them in accordance with conservation guidelines. Numerous heritage buildings undergoing revitalisation are converted to new functions. This is possible due to application of modern building and conservation technologies. The Manor

* mgr inż., Politechnika Wroclawska, Wydział Budownictwa Lądowego i Wodnego

** prof. dr hab. inż., Politechnika Wroclawska, Wydział Budownictwa Lądowego i Wodnego

*** dr inż., Politechnika Wroclawska, Wydział Budownictwa Lądowego i Wodnego

* *mgr inż., Wrocław University of Technology, Faculty of Civil Engineering*

** *prof. dr hab. inż., Wrocław University of Technology, Faculty of Civil Engineering*

*** *dr inż., Wrocław University of Technology, Faculty of Civil Engineering*

Cytowanie / Citation: Mioduszeński P., Jasieńko J., Nowak T. Modification of roof structure and roof space of heritage buildings in relation to new uses – example of the SARNY Manor House. *Wiadomości Konserwatorskie – Journal of Heritage Conservation* 2016;47:128-140

Otrzymano / Received: 29.08.2016 • **Zaakceptowano / Accepted:** 18.09.2016

doi:10.17425/WK47SARNYMANOR

Praca dopuszczona do druku po recenzjach

Article accepted for publishing after reviews

budowlanych, jak i konserwatorskich. Założenie dworskie w Ścinawce Górnej jest takim przykładem.

2. RYS HISTORYCZNY

Zabytkowy zespół dworski Sarny (ryc. 1, 2), zwany także zamkiem Scharfeneck, jest jedną z największych posiadłości w dawnym Hrabstwie Kłodzkim i prowincji śląskiej. Założenie dworsko-parkowe położone jest na obrzeżach wsi Ścinawka Górna, w gminie Radków powiatu kłodzkiego, na terenie województwa dolnośląskiego. Kompleks rezydencyjno-folwarczny usytuowany jest na skalnym występie w rozgałęzieniu rzek Włodzicy i Ścinawki (ryc. 3, 4).

Pierwsza zachowana wzmianka o majątku pańskim czy niewielkiej siedzibie rycerskiej w Sarnach pochodzi z 1400 roku [1]. Założenie dworskie w Ścinawce Górnej (ryc. 5, 6, 7) jest przykładem architektury rezydencjonalnej z XVI/XVII wieku, kiedy mieściła się tu siedziba rodowa Reichenbachów. Usytuowanie dworu przy szlaku handlowym biegnącym z Nowej Rudy pozytywnie wpłynęło na jego rozwój. Dwór został wzniesiony w 1590 r. przez Fabiana von Re-



Ryc. 1. Dwór Sarny z odbudowanym krenelażem domu bramnego – widok od południowego zachodu (fot. Fundacja Odbudowy Dworu Sarny)

Fig. 1. The Sarny Manor House showing the restored battlement – view from the south-west (photo: Foundation for Restoration of the Sarny Manor House)



Ryc. 2. Zespół dworski Sarny – widok od zachodu (fot. Fundacja Odbudowy Dworu Sarny)

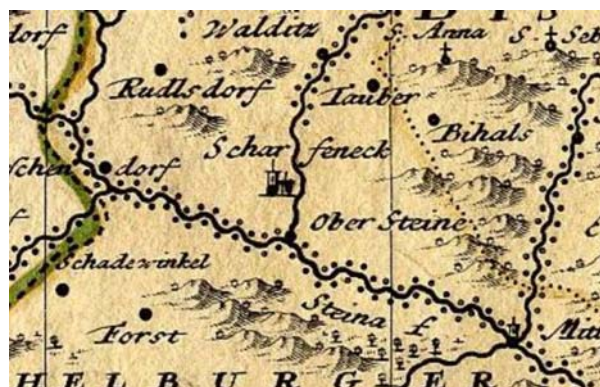
Fig. 2. The Sarny Manor House complex – view from the west (photo: Foundation for Restoration of the Sarny Manor House)

House in Ścinawka Górna is an example of such revitalisation project.

2. HISTORICAL BACKGROUND

The Sarny Manor House heritage complex (fig. 1, 2), known also as the Scharfeneck castle, was one of the largest estates in the old County of Kłodzko (Kladsko) and the Province of Silesia. The Manor House and the park are located on the outskirts of the village of Ścinawka Górna in Radków municipality, Kłodzko Poviast, in the Lower Silesian region. The residential complex and farm are located on a rocky ledge between the Włodzica and Ścinawka rivers (fig. 3, 4).

The Sarny estate – a local knight's seat – was first mentioned in 1400 [1]. The Manor House complex in Ścinawka Górna (fig. 5, 6, 7) is an example of residential architecture of the 16th and 17th centuries. At that time, it was the seat of the Reichenbach family. The estate's location near the main trading route from Nowa Ruda facilitated its development. The Manor House was built in 1590 by Fabian von Reichenbach and at the time was the second largest residence in the County of Kłodzko,



Ryc. 3. La Comte de Glatz avec le Principaute de Munsterberg. Comitatus Glaciensis. Fragment mapy z 1747 r. przedstawiającej Hrabstwo Kłodzkie

Fig. 3. La Comte de Glatz avec le Principaute de Munsterberg. Comitatus Glaciensis. Fragments of a map of the County of Kłodzko dating back to 1747



Ryc. 4. Fragment mapy topograficznej w skali 1:25 000 z roku 1937 przedstawiającej lokalizację zamku Scharfeneck

Fig. 4. Fragments of a topographic map showing the location of the Scharfeneck castle in 1937 (scale 1:25 000)



Ryc. 5. Zespół dworski w Sarnach – widok od południowego zachodu wg ryciny ze zbiorów Albrechta Haselbacha

Fig. 5. The Sarny Manor House complex – view from the south-west – an etching from the collection of Albrecht Haselbach



Ryc. 6. Zespół dworski Sarny według rysunku Theodora Blätterbauera, Wrocław 1846

Fig. 6. The Sarny Manor House complex – drawing by Theodor Blätterbauer, Wrocław 1846

ichenbacha i był drugą po pałacu w Gorzanowie największą rezydencją na obszarze Hrabstwa Kłodzkiego [2]. Charakterystycznym elementem bryły wielopiętrowego budynku dworu był tzw. dach pograżony, charakteryzujący się ostrokatnymi szczytami w układzie litery „M”. Rozwiązanie podwójnego, dwuspadowego dachu znalazło również zastosowanie w domu bramnym oraz spichlerzu, który powstał w późniejszym okresie.

Fabian von Reichenbach utracił majątek w Sarnach po powstaniu czeskim. W ciągu dalszych zmian własnościowych cesarz Leopold I przekazał posiadłość staroście Hrabstwa Kłodzkiego, hrabiemu Johanowi Georgowi von Götzen. Okres panowania rodu von Götzen był bardzo pomyślny dla dworu. Na początku XVIII wieku wybudowano unikatową kaplicę dworską poświęconą postaci św. Jana Nepomucena oraz ufundowano pałac letni [2]. Natomiast w XIX stuleciu przekształcono dach dworski na mansardowy oraz zmodernizowano dom bramny poprzez zastąpienie podwójnego szczytu neogotyckim krenelażem.

W 1871 r. majątek w Sarnach sprzedano fabrykantowi Maksowi Schneiderowi, za czasów którego do zaprojektowania dworskiego parku został zatrudniony słynny planista Carl Petzold.



Ryc. 7. Schemat założenia dworsko-parkowego w Sarnach; 1 – spichlerz, 2 – obora, 3 – magazyn, 4 – budynek mieszkalny, 5 – szopa, 6, 7 – wozownia, 8, 9 – obora, 10 – pałac, 11 – budynek mieszkalny, 12 – budynek bramny, 13 – pałac letni, 14 – park górny, 15 – park dolny (na podstawie: Przybylak Ł., Rzut założenia dworsko-parkowego w Sarnach, Hortus Excelsior, 2014)

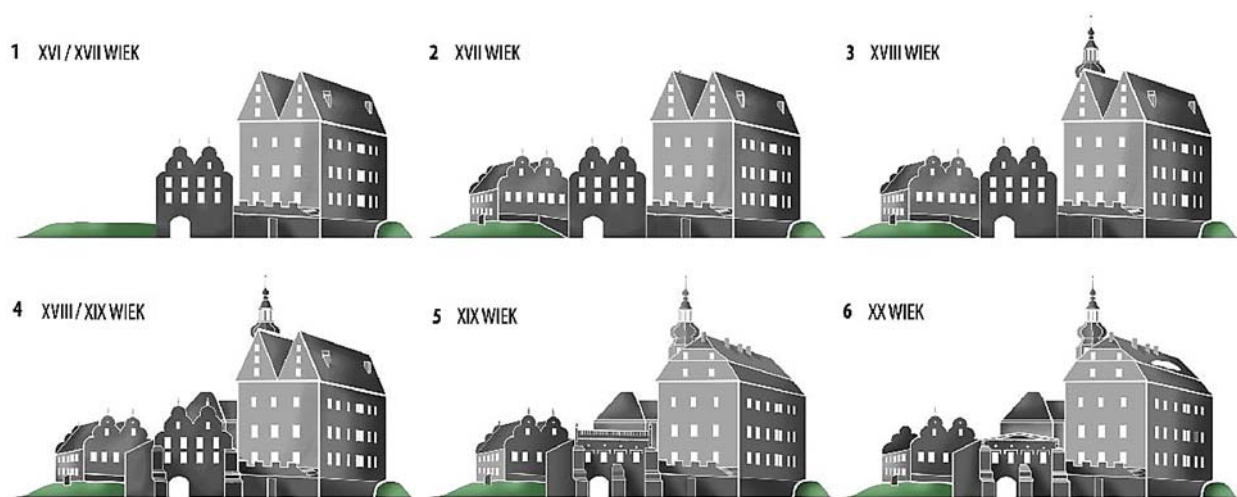
Fig. 7. Plan of the Manor House and park complex in Sarny: 1 – granary, 2 – cowshed, 3 – storage, 4 – residential building, 5 – shed, 6, 7 – carriage house, 8, 9 – cowshed, 10 – palace, 11 – residential building, 12 – gate house, 13 – summer palace, 14 – upper park, 15 – lower park (based on: Przybylak Ł., Plan of the Sarny Manor House and Park complex, Hortus Excelsior, 2014)

aside from the Palace in Gorzanów, [2]. A characteristic element of the multi-storey building was the so called butterfly roof with its acute-angled gables resembling the letter M. A double pitched roof was also used to cover the gate house and a granary which was built in later years.

Fabian von Reichenbach lost the Sarny estate following the Bohemian Revolt. As a result of changes in ownership, which followed, the Emperor Leopold I passed the estate on to count Johan Georg von Götzen, the Starost of the County of Kłodzko. The estate prospered under von Götzen family ownership. A unique chapel dedicated to St John of Nepomuk was built at the beginning of the 18th century, as well as a Summer Palace [2]. In the 19th century, the Manor House roof was rebuilt as a mansard roof and the gate house was modernised, which involved replacing the double gables with a Neo-gothic battlement.

In 1871, the Sarny estate was sold to Max Schneider, a factory-owner, who employed a famous planner, Carl Petzold, to design the Manor park.

In 1920, the estate became the property of the Poppler family. The family owned Sarny until 1946 when they were forced to leave the estate. The years following World War 2 were difficult for the Manor, as the estate became part of a state-owned farm (PGR). In the 1970s, some routine repair work was completed and the frescos in the chapel were renovated. In 1978, the Manor fell into disuse. From this moment onwards, it was vandal-



Ryc. 8. Schematyczne przedstawienie dynamiki przemian zabudowań kompleksu dworskiego w Sarnach – widok od południa, wykonane na bazie stalorytu Theodora Blätterbauera oraz ilustracji dynamiki przemian kompleksu zabudowań dworskich Łukasza Przybyłaka, Hortus Excelsior, 2014

Fig. 8. A diagram showing modifications of the buildings in the Sarny Manor House complex – view from the south. Based on Theodor Blätterbauer's engraving and illustration of the dynamics of changes in manor buildings by Łukasz Przybylak, Hortus Excelsior, 2014

W 1920 r. majątek przechodzi na własność rodziny Popplerów i zostaje w ich rękach do momentu opuszczenia przez nich dworu w 1946 r. Szczególnie dotkliwy dla dworu był okres po II wojnie światowej, kiedy posiadłość w Sarnach weszła w zasób Państwowego Gospodarstwa Rolnego. W latach 70. miały miejsce bieżące remonty oraz przeprowadzono konserwację fresków w kaplicy dworskiej. Dwór przestał być użytkowany w 1978 r. Okres dewastacji dworu, licznych aktów wandalizmu, kradzieży elementów konstrukcyjnych i detali architektonicznych trwał do końca 2013 r., do chwili przejęcia dworu przez nowego właściciela. Fundacja Odbudowy Dworu Sarny prowadzi długotrwały projekt rewitalizacji kompleksu dworskiego.

Zachowany do dzisiaj budynek spichlerza powstał w I połowie XVIII wieku (ryc. 9) z polecenia Antoniego von Götzena. Budynek spichlerza wzniesiono w stylu barokowym, natomiast jego przekształcenie i nadanie form neorenesansowych miało miejsce w II połowie XIX wieku. Trójkondygnacyjny budynek jest obiektem wybudowanym z cegły i kamienia, powstał na planie równoległoboku. Charakterystycznym elementem budynku są podwójne szczyty. Obiekt przykryto dachem pogrążonym, którego pokrycie zostało prawdopodobnie wykonane z lokalnego łupka kamiennego. Pomimo swojej nazwy spichlerz początkowo nie pełnił funkcji magazynu. Znaczna liczba okien umieszczonych w trzech ścianach budynku pozwala przypuszczać, że pierwotnie budynek miał inne przeznaczenie [2]. Zarówno forma obiektu, rozkład wnętrza, jak i dekoracja ścian potwierdza tezę, jakoby budynek został wzniesiony dla podkreślenia wielkości panującej tu rodziny Götzenów.

W XX wieku więźba dachowa spichlerza uległa zawaleniu i budynek został tymczasowo zabezpieczony poprzez wprowadzenie dachu pulpitowego, który w następnych latach uległ zniszczeniu.

ised, whereas some structural elements and architectural details were stolen. This situation persisted until a new owner took over in 2013. The Foundation for Restoration of the Sarny Manor House has been operating a long-term project to revitalise the Manor complex.

The granary building, which has survived to modern times, was constructed in the first half of the 18th century (fig. 9) as a commission of Antoni von Götzen. The original granary was built in the Baroque style, but was subsequently rebuilt in the Neogothic style in the second half of the 19th century. It is a three-storey building constructed of brick and stone, on a rhomboid floorplan. The double gables are a characteristic feature of the building, which was covered with a butterfly roof, made probably from local slate tiles. Despite its name, the granary was not used originally for storage. The large number of windows placed in its three walls suggest that the building was used for another purpose [2].



Ryc. 9. Sgraffito z XVIII wieku na wewnętrznej ścianie spichlerza (fot. Fundacja Odbudowy Dworu Sarny)

Fig. 9. The 18th century sgraffito on the internal wall of the granary (photo: Foundation for Restoration of the Sarny Manor House)

3. NOWE PRZEZNACZENIE OBIEKTU

Skala i kontekst historyczny rezydencji w Sarnach daje szereg możliwości adaptacji zespołu dworu na cele kulturalne. Dwór Sarny stanie się Centrum Muzyki Dawnej, które będzie miejscem koncertów, festiwali i sympozjów dla ruchu muzycznego specjalizującego się w muzyce sprzed II poł. XVIII wieku. W kaplicy św. Jana Nepomucena odbywać się będą koncerty muzyki religijnej, podczas gdy spichlerz dworski będzie główną sceną powstającego centrum. Spichlerz przeznaczony będzie na instytucję kultury z salą koncertową na 200 osób, z salą prób oraz infrastrukturą pomocniczą. Natomiast w domu bramnym zlokalizowany będzie punkt obsługi ruchu turystycznego. W Sarnach planowana jest również budowa muzeum sztuki ogrodowej.

4. ROZWIĄZANIA PROJEKTOWE

Agencja Nieruchomości Rolnych na skutek zainteresowania zakupem Dworu Sarny przez brytyjską fundację pod patronatem Karola, księcia Walii zleciła wykonanie projektu odbudowy budynku spichlerza. Obiekt miałby ponownie pełnić funkcje gospodarcze. Projekt zakładał przywrócenie obiektowi czterech niskich kondygnacji, wydzieleniu w konstrukcji dwóch kondygnacji magazynowych, budowie dwóch drewnianych klatek, wykonaniu żelbetowego wieńca opaskowego pod murlatę dachu oraz odtworzeniu tradycyjnej więźby dachowej opartej na słupach konstrukcyjnych [3]. Realizacja nie doszła do skutku, dwór został przejęty przez Fundację Odbudowy Dworu Sarny, która zleciła wykonanie badań architektonicznych związanych z planowanymi pracami konserwatorskimi i budowlanymi obejmującymi budynki zespołu dworskiego Sarny. Na podstawie wniosków konserwatorskich odnośnie do dachu spichlerza wskazane jest odtworzenie dwuszczytowego dachu, przywrócenie układu historycznej połaci dachu, przy czym dopuszcza się wprowadzenie współczesnego układu konstrukcyjnego więźby [4]. Koncepcyjne rozwiązania odbudowy spichlerza przedstawiono na ryc. 10.

W przyjętej przez inwestora koncepcji spichlerz przestał pełnić funkcję budynku gospodarczego. Nowy dach jest trójkondygnacyjny, dwuspadowy, o kącie nachylenia 54°, pokryty papą, przygotowany pod krycie dachówką ceramiczną karpiówką. Więźba dachowa składa się z drewnianych wiązarów kratownicowych, łączonych przy użyciu płytek kolczastych. Konstrukcja oparta jest na ścianach zewnętrznych oraz na środkowym wiązaru kratownicowym, który usytuowany jest na dwóch słupach konstrukcyjnych (ryc. 11).

Trzecia koncepcja zakłada wyeliminowanie środkowych słupów konstrukcyjnych poprzez częściowe oparcie konstrukcji dachowej na dźwigarach łukowych wykonanych z drewna klejonego. Zastosowanie drewna klejonego ma na celu zwiększenie nośności

The form of the building, its interior layout and wall decorations seem to confirm the claim that the building was built to emphasize the power and importance of the von Götzen family.

In the 20th century, the roof structure of the granary collapsed and the building was temporarily covered with a pent roof for protection. But in the years that followed the roof was destroyed.

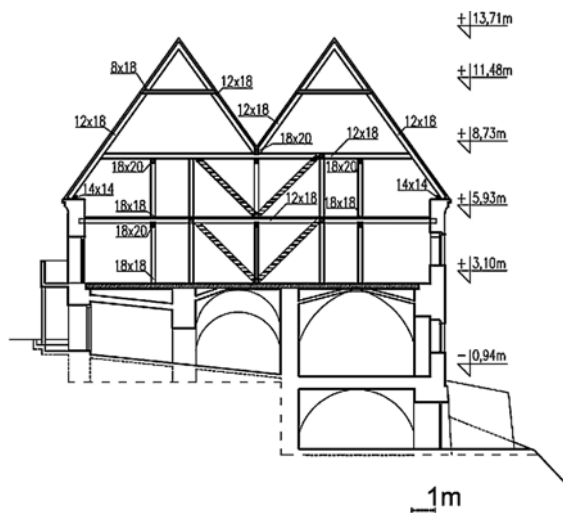
3. NEW USES FOR THE BUILDING

The scale and historical context of the Sarny residence provides a wide range of possibilities for adapting the Manor House complex to new culture related functions. The Sarny Manor House is to become the Centre for Early Music and a venue for concerts, festivals and symposia for those specialising in music dating back to the period up to the second half of the 18th century. The chapel of St John of Nepomuk is to host sacral music concerts, and the granary will be the main facility of the Centre, which is still to be organised. The granary will house cultural institutions and the main concert hall with a 200 seat auditorium, complete with a rehearsal room and supporting infrastructure. A Tourist Information Point is to be located in the Gate House. A museum of garden art is also planned for Sarny.

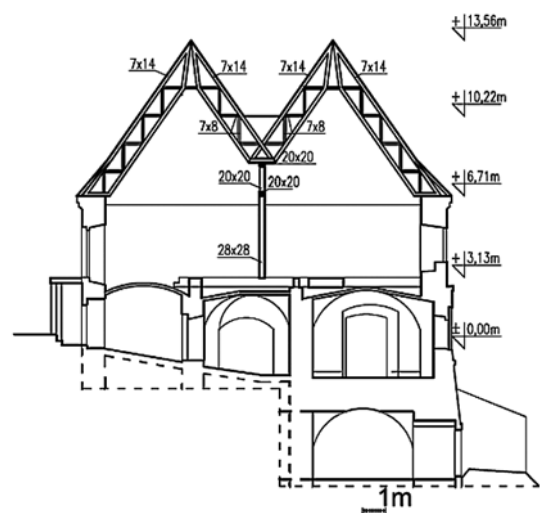
4. DESIGN SOLUTIONS

A British foundation acting under the auspices of HRH The Prince of Wales expressed interest in purchasing the Sarny Manor House. As a result, the Agricultural Property Agency commissioned preparation of a plan for the restoration and renovation of the granary building. The plan assumed that the building would be used for utility functions. The design proposed restoring the granary as a single building with four low storeys, with two storeys dedicated to storage functions. Two timber stair cases were planned. The design involved also construction of a reinforced concrete ring beam for supporting wall plates and restoration of a traditional roof structure supported by structural posts [3]. However, this design plan was not implemented and the manor-house was taken over by the Foundation for Restoration of the Sarny Manor House. The Foundation commissioned architectural analysis related to the planned conservation and building work on the buildings making up the Sarny Manor House complex. The conservation recommendation for the granary building involved restoration of the double-gabled roof and the historical arrangement of the roof slope. The recommendations permitted application of a contemporary structural arrangement of the roof truss [4]. Design concepts for the restoration of the granary are presented in fig. 10.

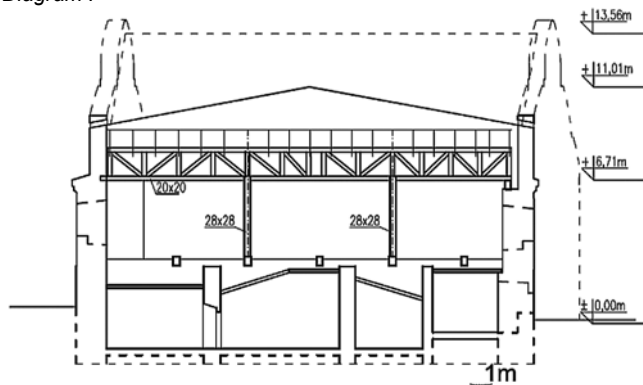
In accordance with the solution adopted by the investor, the granary does not serve as a utility building. Its new pitched roof has three levels and a 54° inclination angle. The roof is covered with bitumen paper and is ready to be covered with ceramic beaver-tail tiles. The



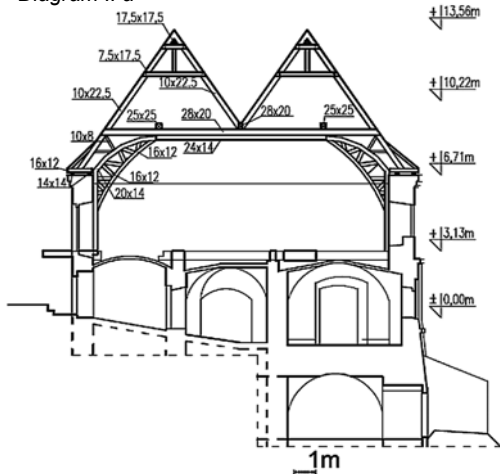
Schemat I
Diagram I



Schemat II a
Diagram II a



Schemat II b
Diagram II b



Schemat III
Diagram III

Ryc. 10. Rozwiązania konstrukcyjne odbudowy spichlerza:

Schemat I – projekt rekonstrukcji budynku spichlerza wykonany na zlecenie Agencji Nieruchomości Rolnych;

Schemat II a,b – obecnie zrealizowany projekt rekonstrukcji budynku spichlerza;

Schemat III – propozycja rekonstrukcji budynku spichlerza z zastosowaniem drewna klejonego

Fig. 10. Structural solutions proposed for the restoration of the granary building:

Diagram I – the design for the reconstruction of the granary building commissioned by the Agricultural Property Agency;

Diagram II a, b – the design for the reconstruction of the granary building which has been implemented;

Diagram III – the proposal for restoration of the granary building using glulam

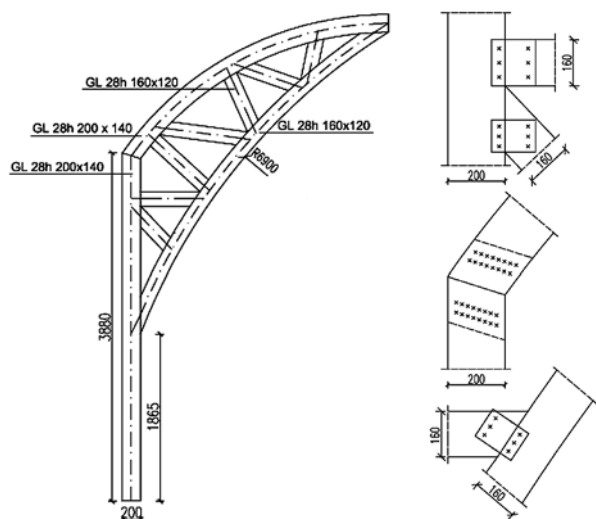


Ryc. 11. Więźba dachowa po montażu w ramach adaptacji spichlerza w grudniu 2014 r. (fot. Fundacja Odbudowy Dworu Sarny)

Fig. 11. The roof structure after installation as part of the restoration of the granary building in December 2014 (photo: Foundation for Restoration of the Sarny Manor House)

roof structure consists of timber trusses joined with nail plates. The structure rests on external walls and a central truss rafter, supported by two structural posts (fig. 11).

A third concept assumed elimination of central structural posts and partial support for the roof structure provided by arch girders made of glulam. The application of glued timber is to increase the stiffness and load-bearing capacity of the structure. The main, upper part of the roof structure comprises trusses made of C30 pine wood, whereas the horizontal and radial girders are made of GL28h glulam (fig. 12). The arch girders consist of elements with dimensions of 200 × 140 mm and 160 × 120 mm, which are additionally strengthened with ribs. The elements are joined together with steel plates and self-drilling bolts. The horizontal girders have been additionally reinforced with upstanding beams made of glulam. Traditional carpentry joints and metal connectors have been used in the roof structure. Selected



Ryc. 12. Schemat łukowego dźwigara wykonanego z drewna klejonego GL28h wraz ze schematycznymi rozwiązaniami połączeń z użyciem płyt stalowych i sworzni samowierzących

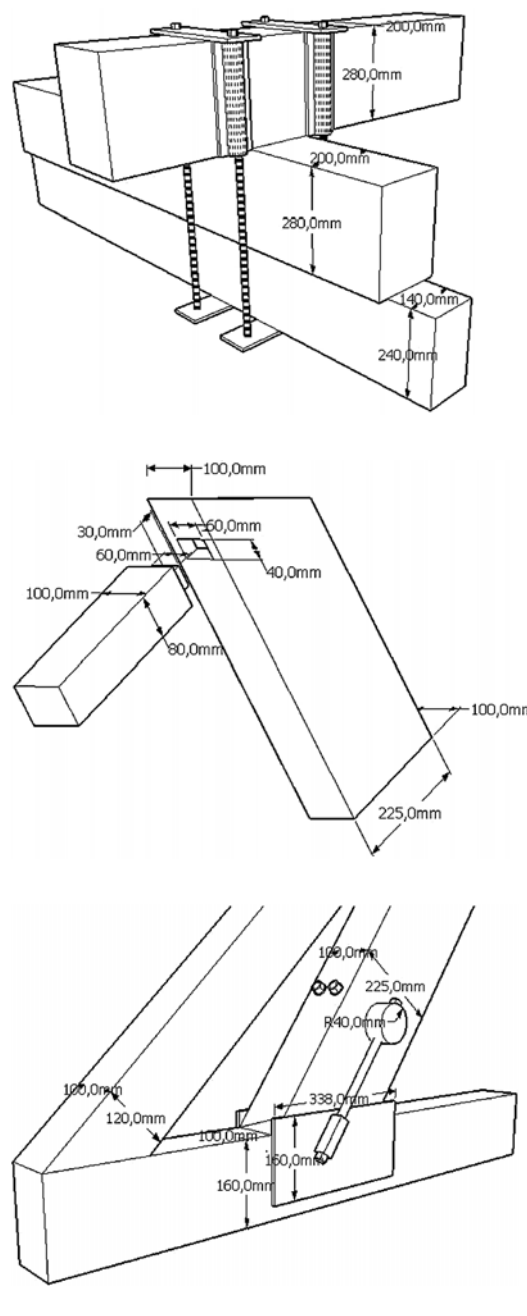
Fig. 12. Diagram of an arch girder made of GL28h glulam and the steel plates and self-drilling bolts connection diagrams

i sztywności konstrukcji. Główna, górna konstrukcja więźby dachowej składa się z wiązarów kratownicowych wykonanych z drewna sosnowego C30, natomiast dźwigary poziome i promieniowe są wykonane z drewna klejonego warstwowo klasy GL28h (ryc. 12). Łukowe dźwigary wykonane są z elementów o wymiarach 200 × 140 mm i 160 × 120 mm i są dodatkowo wzmocnione żebrami. Elementy połączone są za pomocą płyt stalowych i sworzni samowierzących. Poziome dźwigary zostały wzmocnione dodatkowymi nadciągami wykonanymi z drewna klejonego. W konstrukcji więźby dachowej użyto tradycyjnych złączy ciesielskich i łączników metalowych. Wybrane połączenia zostały przedstawione na ryc. 13. Dla połączenia krokwi i belki wiązarowej zastosowano połączenie z możliwością regulacji naprężeń za pomocą śrub.

5. ANALIZA PRACY STATYCZNEJ WYBRANYCH ELEMENTÓW

W pracy przedstawiono model obliczeniowy połączenia na jaskółczy ogon. Analiza pracy statycznej połączenia belki wiązarowej z krokwią ze stalowym trzpieniem została przeprowadzona dla wybranych schematów obciążeniowych. Celem analizy numerycznej jest znalezienie rozkładu naprężeń normalnych σ_x , σ_y dla badanych połączeń.

W celu uproszczenia obliczeń dla drewna przyjmuje się materiałową anizotropię ortogonalną, w której przyjmuje się trzy wzajemnie prostopadłe płaszczyzny symetrii, wobec których występuje symetria właściwości drewna. Traktując drewno jako materiał ortotropowy, uogólnione prawo Hooke'a można przedstawić następująco:



Ryc. 13. Wybrane połączenia więźby dachowej budynku spichlerza:

I – Połączenie belek i płatwi za pomocą płaskownika

II – Połączenie miecza i krokwi na czop

III – Połączenie krokwi z belką wiązarową

Fig. 13. Selected joints used in the roof structure of the granary

I – Connection of beams and purlins with a steel plate

II – Connection of an angle tie and a rafter with a tenon joint

III – Connection of a rafter with the truss beam

joints are shown in fig. 13. The connection between the rafters and the truss beam allows for using screws to regulate strain.

5. STATIC BEHAVIOUR ANALYSIS OF SELECTED ELEMENTS

The paper presents a calculation model for a dovetailed joint. The analysis of the static behaviour of the steel bolt connection of the truss beam with a rafter was

$$\begin{Bmatrix} \sigma_L \\ \sigma_T \\ \sigma_R \\ \tau_{TR} \\ \tau_{RL} \\ \tau_{LT} \end{Bmatrix} \begin{Bmatrix} D_{11} & D_{21} & D_{31} & 0 & 0 & 0 \\ D_{21} & D_{22} & D_{32} & 0 & 0 & 0 \\ D_{31} & D_{32} & D_{33} & 0 & 0 & 0 \\ 0 & 0 & 0 & D_{44} & 0 & 0 \\ 0 & 0 & 0 & 0 & D_{55} & 0 \\ 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & D_{66} \end{Bmatrix} \begin{Bmatrix} \varepsilon_L \\ \varepsilon_T \\ \varepsilon_R \\ \gamma_{TR} \\ \gamma_{RL} \\ \gamma_{LT} \end{Bmatrix} \quad (1)$$

gdzie współczynniki macierzy $D_{ij} = D_{ji}$ mogą być uznane jako stałe:

$$D_{11} = \frac{1 - V_{TR}V_{RT}}{\Delta E_T E_R} \quad (2)$$

$$D_{12} = \frac{V_{LT} + V_{RT}V_{LR}}{\Delta E_L E_T} \quad (3)$$

$$D_{13} = \frac{V_{LR} + V_{RT}V_{TR}}{\Delta E_L E_T} \quad (4)$$

$$D_{22} = \frac{1 - V_{LR}V_{RL}}{\Delta E_L E_T} \quad (5)$$

$$D_{23} = \frac{V_{TR} - V_{TL}V_{LR}}{\Delta E_L E_T} \quad (6)$$

$$D_{33} = \frac{1 - V_{LT}V_{TL}}{\Delta E_L E_T} \quad (7)$$

$$D_{44} = G_{TL} \quad (8)$$

$$D_{55} = G_{LT} \quad (9)$$

$$D_{66} = G_{LT} \quad (10)$$

$$\Delta = \frac{1 - V_{LT}V_{TL} - V_{TR}V_{RT} - V_{RL}V_{LR} - 2V_{TR}V_{RT}V_{LR}}{E_L E_T E_R} \quad (11)$$

gdzie:

- E_L, E_T, E_R są modułami Younga;
- V_{ij} są współczynnikami Poissona,

$$V_{ij} = -\frac{\varepsilon_j}{\varepsilon_i}, (i, j = L, T, R; i \neq j)$$
- G_{LT}, G_{TR}, G_{LR} są modułami odkształcenia postaciowego.

W drewnie wyróżnia się kierunki anatomiczne. Przy opisywaniu właściwości drewna wykorzystuje się zapis literowy, który precyzuje kierunki anatomiczne drewna: T – kierunek styczny, L – wzdłużny do powierzchni poszczególnych warstw włókien, R – promieniowy. Tensor naprężeń T_σ i tensor odkształceń T_ε mogą być określone jako:

carried out for selected loading schemes. The goal of the numerical analysis is to determine the distribution of regular stresses σ_x, σ_y , for the connections investigated.

To simplify the calculations, an orthogonal anisotropy was assumed for the wood material, along with three mutually perpendicular planes of symmetry, with respect to which the timber parameters are symmetrical. If the timber is regarded as an orthotropic material, then the generalised version of Hooke's law can be expressed as follows:

$$\begin{Bmatrix} \sigma_L \\ \sigma_T \\ \sigma_R \\ \tau_{TR} \\ \tau_{RL} \\ \tau_{LT} \end{Bmatrix} \begin{Bmatrix} D_{11} & D_{21} & D_{31} & 0 & 0 & 0 \\ D_{21} & D_{22} & D_{32} & 0 & 0 & 0 \\ D_{31} & D_{32} & D_{33} & 0 & 0 & 0 \\ 0 & 0 & 0 & D_{44} & 0 & 0 \\ 0 & 0 & 0 & 0 & D_{55} & 0 \\ 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & D_{66} \end{Bmatrix} \begin{Bmatrix} \varepsilon_L \\ \varepsilon_T \\ \varepsilon_R \\ \gamma_{TR} \\ \gamma_{RL} \\ \gamma_{LT} \end{Bmatrix} \quad (1)$$

where matrix coefficients $D_{ij} = D_{ji}$ can be treated as constant:

$$D_{11} = \frac{1 - V_{TR}V_{RT}}{\Delta E_T E_R} \quad (2)$$

$$D_{12} = \frac{V_{LT} + V_{RT}V_{LR}}{\Delta E_L E_T} \quad (3)$$

$$D_{13} = \frac{V_{LR} + V_{RT}V_{TR}}{\Delta E_L E_T} \quad (4)$$

$$D_{22} = \frac{1 - V_{LR}V_{RL}}{\Delta E_L E_T} \quad (5)$$

$$D_{23} = \frac{V_{TR} - V_{TL}V_{LR}}{\Delta E_L E_T} \quad (6)$$

$$D_{33} = \frac{1 - V_{LT}V_{TL}}{\Delta E_L E_T} \quad (7)$$

$$D_{44} = G_{TL} \quad (8)$$

$$D_{55} = G_{LT} \quad (9)$$

$$D_{66} = G_{LT} \quad (10)$$

$$\Delta = \frac{1 - V_{LT}V_{TL} - V_{TR}V_{RT} - V_{RL}V_{LR} - 2V_{TR}V_{RT}V_{LR}}{E_L E_T E_R} \quad (11)$$

where:

- E_L, E_T, E_R are Young's moduli;
- V_{ij} are Poisson's ratios,

$$V_{ij} = -\frac{\varepsilon_j}{\varepsilon_i}, (i, j = L, T, R; i \neq j)$$
- G_{LT}, G_{TR}, G_{LR} are shear moduli.

Wood is characterised by anatomical directions. Wood properties are described using letter symbols

$$T_{\sigma} = \begin{pmatrix} \sigma_L & \tau_{LR} & \tau_{LT} \\ \tau_{RL} & \sigma_R & \tau_{RT} \\ \tau_{TL} & \tau_{TR} & \sigma_T \end{pmatrix} \quad (12)$$

$$T_{\varepsilon} = \begin{pmatrix} \varepsilon_L & \gamma_{LR} & \gamma_{LT} \\ \gamma_{RL} & \varepsilon_R & \gamma_{RT} \\ \gamma_{TL} & \gamma_{TR} & \varepsilon_T \end{pmatrix}. \quad (13)$$

Związek pomiędzy naprężeniami (σ , τ) i odkształceniami (ε , γ) opisują następujące zależności [5]:

$$\varepsilon_L = \frac{1}{E_L} \sigma_L - \frac{\nu_{LT}}{E_L} \sigma_T - \frac{\nu_{LR}}{E_L} \sigma_R \quad (14)$$

$$\varepsilon_T = -\frac{\nu_{TL}}{E_T} \sigma_L + \frac{1}{E_T} \sigma_T - \frac{\nu_{TR}}{E_T} \sigma_R \quad (15)$$

$$\varepsilon_R = -\frac{\nu_{RL}}{E_R} \sigma_L - \frac{\nu_{RT}}{E_R} \sigma_T + \frac{1}{E_R} \sigma_R \quad (16)$$

$$\gamma_{TR} = \frac{1}{G_{TR}} \tau_{TR} \quad (17)$$

$$\gamma_{RL} = \frac{1}{G_{RL}} \tau_{RL} \quad (18)$$

$$\gamma_{LT} = \frac{1}{G_{LT}} \tau_{LT} \quad (19)$$

Powyższe formuły są poprawne przy założeniu jednakowego modułu sprężystości przy ściskaniu i rozciąganiu. Dla ciał ortotropowych występuje symetria stałych materiałowych względem głównej przekątnej. W niniejszej analizie, ze względu na trudność rozróżnienia w drewnianym elemencie konstrukcyjnym kierunków stycznego i promieniowego [6], drewno traktowane jest jako materiał ortotropowy, skąd zachodzą równości:

$$\frac{\nu_{LT}}{E_L} = \frac{\nu_{TL}}{E_T} \quad (20)$$

$$\frac{\nu_{TR}}{E_T} = \frac{\nu_{RT}}{E_R} \quad (21)$$

Model połączenia 3D wykonano za pomocą programu ABAQUS ver 6.14. Analizowanymi elementami połączenia są krokiew i belka (o długości 1,5 m; 1,0 m, o wymiarach 100 × 225 mm; 200 × 280 mm), kąt nachylenia krokwi 54°. W analizie nie uwzględniono odkształceń wywołanych skurczem drewna, które mają wpływ na pracę połączenia. Przyjęte parametry

to indicate the anatomical directions: T – tangential direction, L – longitudinal direction, R – radial direction. The stress tensor T_{σ} and the strain tensor T_{ε} can be defined as follows:

$$T_{\sigma} = \begin{pmatrix} \sigma_L & \tau_{LR} & \tau_{LT} \\ \tau_{RL} & \sigma_R & \tau_{RT} \\ \tau_{TL} & \tau_{TR} & \sigma_T \end{pmatrix} \quad (12)$$

$$T_{\varepsilon} = \begin{pmatrix} \varepsilon_L & \gamma_{LR} & \gamma_{LT} \\ \gamma_{RL} & \varepsilon_R & \gamma_{RT} \\ \gamma_{TL} & \gamma_{TR} & \varepsilon_T \end{pmatrix}. \quad (13)$$

The relation between stresses (σ , τ) and strains (ε , γ) is described as follows [5]:

$$\varepsilon_L = \frac{1}{E_L} \sigma_L - \frac{\nu_{LT}}{E_L} \sigma_T - \frac{\nu_{LR}}{E_L} \sigma_R \quad (14)$$

$$\varepsilon_T = -\frac{\nu_{TL}}{E_T} \sigma_L + \frac{1}{E_T} \sigma_T - \frac{\nu_{TR}}{E_T} \sigma_R \quad (15)$$

$$\varepsilon_R = -\frac{\nu_{RL}}{E_R} \sigma_L - \frac{\nu_{RT}}{E_R} \sigma_T + \frac{1}{E_R} \sigma_R \quad (16)$$

$$\gamma_{TR} = \frac{1}{G_{TR}} \tau_{TR} \quad (17)$$

$$\gamma_{RL} = \frac{1}{G_{RL}} \tau_{RL} \quad (18)$$

$$\gamma_{LT} = \frac{1}{G_{LT}} \tau_{LT} \quad (19)$$

The above formulae are correct if the same modulus of elasticity is adopted for both compression and tension. Orthotropic bodies are characterised by symmetry of material constants in relation to the principal diagonal. As it is difficult to distinguish between the tangential and radial directions in wooden elements [6], wood is treated as an orthotropic material, which results in the following equations:

$$\frac{\nu_{LT}}{E_L} = \frac{\nu_{TL}}{E_T} \quad (20)$$

$$\frac{\nu_{TR}}{E_T} = \frac{\nu_{RT}}{E_R} \quad (21)$$

A 3D model of the joint was generated using ABAQUS software, ver 6.14. The joined elements analysed included: a rafter and a beam (1.5 m, 1.0 m long;

Tabela 1. Przyjęte parametry wytrzymałościowe dla drewna [10]

Table 1. Wood strength parameters adopted [10]

Parametry wytrzymałościowe Strength parameters	E_L [MPa]	E_T [MPa]	E_R [MPa]	G_{LT} [MPa]	G_{LR} [MPa]	G_{TR} [MPa]	ν_{LT}	ν_{LR}	ν_{RT}	ν_{TL}	ν_{RL}	ν_{TR}
Wartości Values	6919	271	450	262	354	33.8	0.388	0.375	0.462	0.015	0.024	0.278

wytrzymałościowe drewna na podstawie PN-EN 380 [7], PN-EN 384 [8] oraz PN-EN 408 [9] oraz [10] zestawiono w tabeli 1.

Analizę pracy połączenia na jaskółczy ogon przeprowadzono przy uwzględnieniu głębokości wrębu w krokwi dla trzech schematów obciążeniowych (ryc. 14):

- w pierwszym scenariuszu wprowadzono naprężenie rozciągające o wartości 0,235 MPa działające na koniec belki. Podporę stałą usytuowano na obu końcach krokwi, a połączenie przegubowe w miejscu stalowego trzpienia;
- drugi przypadek przedstawia krokiew obciążoną działaniem wiatru; podpora przesuwna została zdefiniowana na obu końcach krokwi, natomiast podpora stała została zastosowana na końcu belki;
- w trzeciej sytuacji pokazano krokiew obciążoną śniegiem; warunki brzegowe zostały określone tak jak dla drugiego scenariusza.

Mapy naprężeń przedstawiono na ryc. 15. Geometria została wprowadzona w cm, natomiast wyniki analizy FEM uzyskano w N/cm^2 , czyli MPa/100.

6. PODSUMOWANIE

Metoda elementów skończonych jest jedną z podstawowych procedur służących do określenia naprężeń normalnych. Połączenia ciesielskie na jaskółczy ogon z trzpieniem zostały poddane szczegółowej analizie. Model został wykonany za pomocą programu ABAQUS. Połączenia zostały poddane działaniu różnych rodzajów obciążenia.

and with dimensions: 100×225 mm; 200×280 mm). The rafter inclination angle was 54° . The analysis does not account for deformations resulting from wood shrinkage and which have impact on the behaviour of the joint. The strength parameters of the wood were adopted in accordance with PN-EN 380 [7], PN-EN 384 [8], PN-EN 408 [9] and [10] standards, which are presented in table 1.

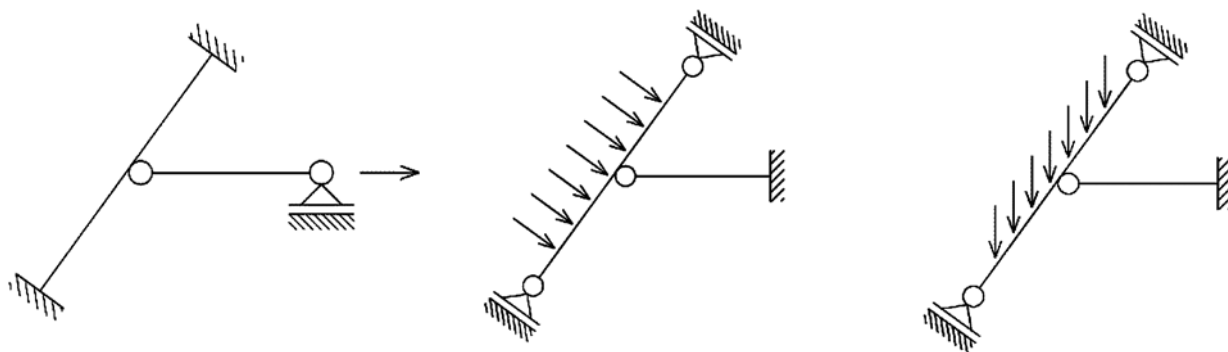
The analysis of the behaviour of the dovetailed joint was carried out, accounting for the depth of the notch in the rafter for three loading schemes and for two depth values. (fig. 14):

- In the first case, a tensile stress of 0.235 MPa was applied to the end of the beam. The fixed support was located on both ends of the rafter, and a hinged joint was placed at the location of a steel bolt;
- In the second case, the rafter was subjected to wind load; the sliding support was defined at both ends of the rafter, and the fixed support was applied at the end of the beam;
- In the third case, the rafter was subjected to snow load; the same boundary conditions as in the second case were applied.

Fig. 15 presents stress maps. Geometrical values are in cm and the results of the FEM analysis are in N/cm^2 , i.e. in MPa/100.

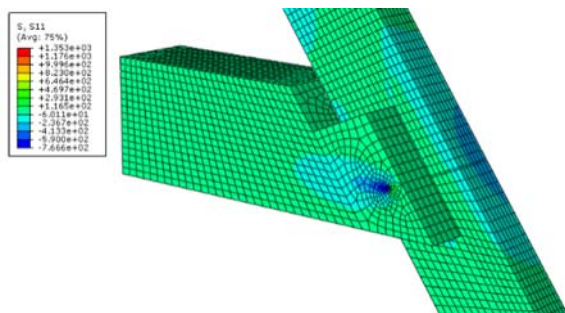
6. CONCLUSION

FEM analysis is one of the basic procedures used to determine regular stress. A detailed analysis was carried out for carpentry dovetailed joints with a

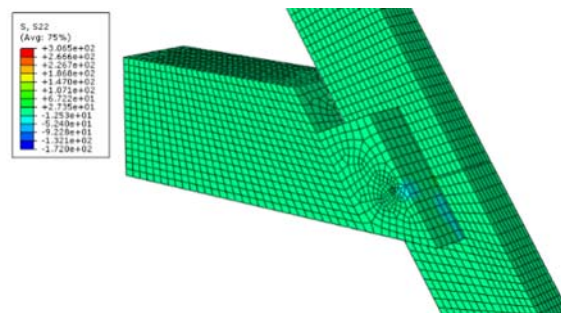


Ryc. 14. Schematy obciążeniowe dla połączenia na jaskółczy ogon: a) przy działaniu siły rozciągającej; b) obciążenie wiatrem; c) obciążenie śniegiem

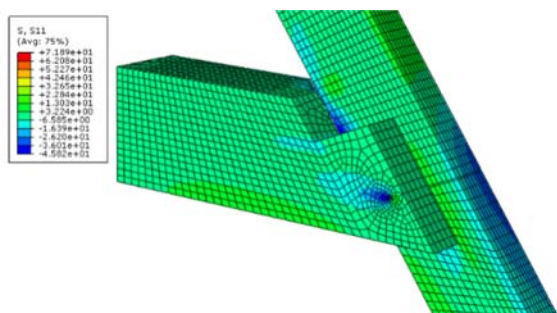
Fig. 14. Loading schemes for the dovetailed joint: a) tensile stress; b) wind load; c) snow load



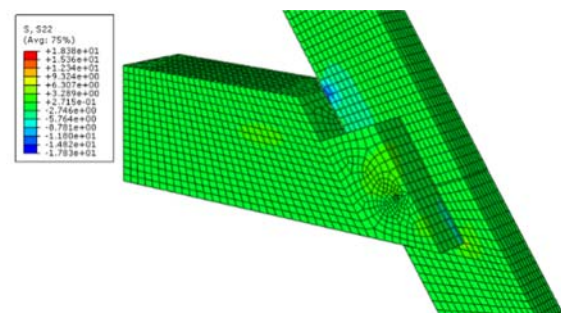
Model I – Naprężenia normalne σ_x
Model I – Normal stress σ_x



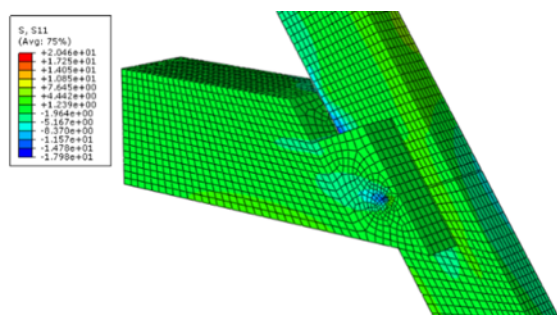
Model I – Naprężenia normalne σ_y
Model I – Normal stress σ_y



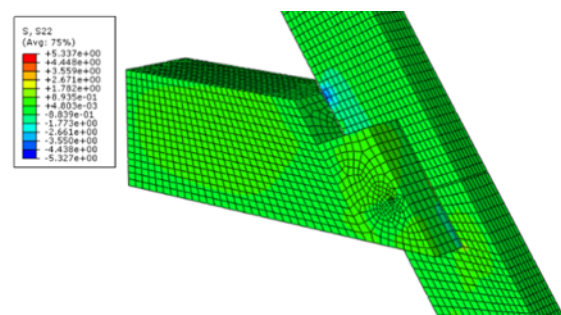
Model II – Naprężenia normalne σ_x
Model II – Normal stress σ_x



Model II – Naprężenia normalne σ_y
Model II – Normal stress σ_y



Model III – Naprężenia normalne σ_x
Model III – Normal stress σ_x



Model III – Naprężenia normalne σ_y
Model III – Normal stress σ_y

Ryc. 15. Wyniki analizy FEM połączenia na jaskółczy ogon dla belki częściowo umieszczonej w krokwi na głębokość 3 cm:
Model I – działanie siły rozciągającej;
Model II – obciążenie wiatrem;
Model III – obciążenie śniegiem

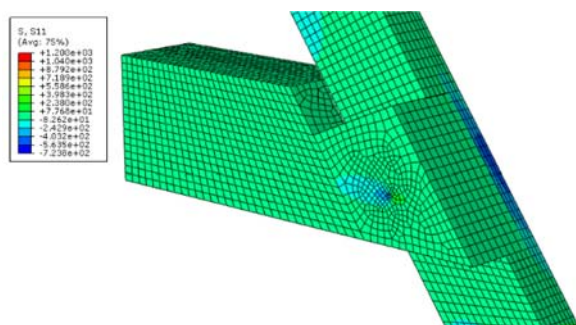
Fig. 15. Results of the FEM analysis of the dovetailed joint for the beam inserted in the rafter to a depth of 3 cm:
Model I – tensile stress;
Model II – wind load;
Model III – snow load

Wyniki potwierdzają, że w połączeniu rozciągającym naprężenia przenoszone są w dużym stopniu przez trzpień. Podobne rezultaty otrzymano w badaniach [11], gdzie stwierdzono, że naprężenia koncentrują się wokół trzpienia, a otrzymane rozkłady naprężeń świadczą o współpracy trzpienia i gniazda w przenoszeniu obciążeń. Ponadto w pracy [12] pokazano, że w połączeniach na jaskółczy ogon, obciążenia zostają przejęte przez trzpień, naprężenia na krawędzi otworu osiągają maksymalną wartość. Dla modelu, w którym połączenie na jaskółczy ogon jest obciążone działaniem wiatru i śniegu, gniazdo połączenia odgrywa większą rolę przy przenoszeniu obciążeń.

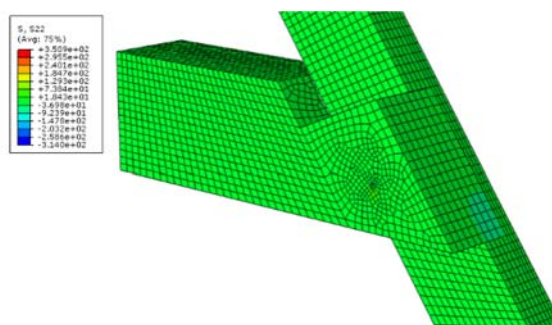
Przeprowadzona analiza numeryczna potwierdza wyniki poprzednich badań [13], że w połączeniu na jaskółczy ogon z trzpieniem przy rozciąganiu, naprę-

steel bolt. ABAQUS software was used to generate the model. The joint was subjected to different types of loading.

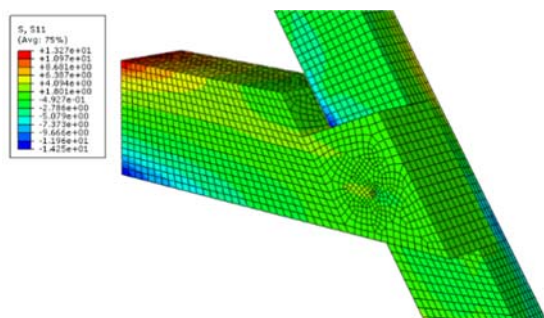
The analysis of results confirm that in the case of the joint under tensile stress, the stress is carried to a large extent by the bolt. Similar results have been obtained in research [11], which confirm that stress is concentrated around the bolt and the stress distribution patterns indicate an interaction between the bolt and its slot with respect to carrying loading. Additionally, [12] demonstrated that in the case of dovetailed joints, loading is taken over by the bolt and the stresses at the opening of the slot reach their maximum values. In the case of the model, in which the dovetailed joint was subjected to wind or snow load, the slot of the joint played a more important role in carrying loading.



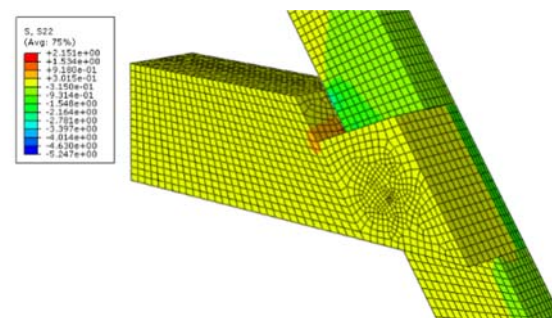
Model I – Naprężenia normalne σ_x
Model I – Normal stress σ_x



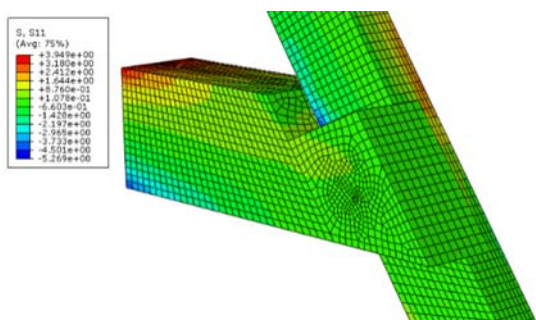
Model I – Naprężenia normalne σ_y
Model I – Normal stress σ_y



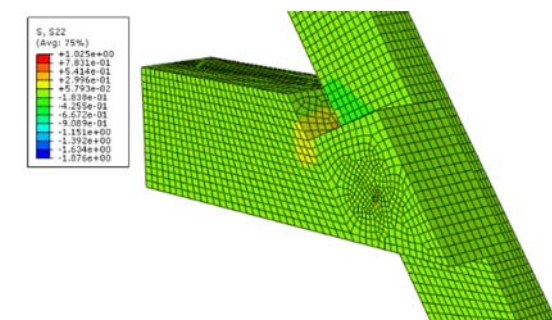
Model II – Naprężenia normalne σ_x
Model II – Normal stress σ_x



Model II – Naprężenia normalne σ_y
Model II – Normal stress σ_y



Model III – Naprężenia normalne σ_x
Model III – Normal stress σ_x



Model III – Naprężenia normalne σ_y
Model III – Normal stress σ_y

Ryc. 16. Wyniki analizy FEM połączenia na jaskółczy ogon dla belki umieszczonej w krokwi na głębokość 7 cm:
Model I – działanie siły rozciągającej;
Model II – obciążenie wiatrem;
Model III – obciążenie śniegiem

Fig. 16. Results of the FEM analysis of the dovetailed joint for the beam inserted in the rafter to a depth of 7 cm:
Model I – tensile stress;
Model II – wind load;
Model III – snow load

żenia δ_x występują na prawie całej płaszczyźnie czopu, natomiast naprężenia prostopadłe δ_y , głównie w pobliżu prawej krawędzi czopu. Oczywistym wnioskiem, potwierdzonym w analizie numerycznej, jest to że decydującym czynnikiem na wartość naprężeń jest głębokość wcięcia krokwi – większe wartości naprężeń rozciągających występują przy mniejszej głębokości wcięcia w krokwi.

Analiza została wykonana w celu lepszego zrozumienia pracy statycznej drewnianych połączeń występujących w zabytkowych budynkach i może przyczynić do prawidłowego wyboru metody konserwacji konstrukcyjnej budynków zabytkowych.

The numerical analysis which was carried out confirmed results of earlier research [13], which showed that in the case of a dovetailed joint with a bolt under tensile stress, stresses δ_x occurred across nearly the whole surface of the tenon, whereas perpendicular stresses δ_y were found to occur mainly near the right edge of the tenon. The obvious conclusion, confirmed by the numerical analysis, is that the depth of the notch in the rafter is the decisive factor in determining the value of stresses – higher values of tensile stress occur for smaller depth of notches in the rafter.

The analysis was carried out to understand better the static behaviour of carpentry joints in heritage buildings. The results may be relevant in the selection of appropriate conservation methods for heritage structures.

LITERATURA

- [1] Tschöpe H. Graftschafter Schlösser, Guda Obend Kalender, 1914.
- [2] Eysymontt K. Studium historyczno-architektoniczne zespołu dworskiego w Sarnach. Pracownia Konserwacji Zabytków, Wrocław, 1972.
- [3] Ostapińska-Okniańska E. Projekt budowlany remontu i odbudowy spichlerza dworskiego. Świdnica, 15.12.2009.
- [4] Legendziewicz A. Zespół dworski Sarny w Ścinawce Górnej (pow. Kłodzko). Wyniki badań architektonicznych oraz wnioski konserwatorskie. Tom III – Spichlerz. Wrocław, marzec-maj 2014.
- [5] Jasieńko J., Engel L.J., Rapp P. Study of strain and stresses in historical carpentry joints by photoelasticity modeling. In: Proceedings of the International Conference on Structural Analysis of Historical Constructions, SAHC 2006, New Delhi, 2006.
- [6] Nowak T. Analiza pracy statycznej zginanych belek drewnianych wzmacnianych przy użyciu CFRP. Praca doktorska, Politechnika Wrocławska, Wrocław, 2007.
- [7] PN-EN 380. Konstrukcje drewniane – metody badań – ogólne zasady badań pod obciążeniem statycznym.
- [8] PN-EN 408. Konstrukcje drewniane – drewno konstrukcyjne lite i klejone warstwowo – oznaczenie niektórych właściwości fizycznych i mechanicznych.
- [9] PN-EN 384. Drewno konstrukcyjne – oznaczenie wartości charakterystycznych właściwości mechanicznych i gęstości.
- [10] Kossakowski P. Analiza odporności na pękanie sosnowych elementów belkowych w złożonym stanie obciążenia. Praca doktorska, Politechnika Świętokrzyska, Kielce, 2004.
- [11] Jasieńko J., Kardysz M. Analiza pracy statycznej połączeń stosowanych w drewnianych konstrukcjach zabytkowych. In: Problemy remontowe w budownictwie ogólnym i obiektach zabytkowych, praca zbiorowa pod red. J. Jasieńki [i in.], Dolnośląskie Wydawnictwo Edukacyjne, Wrocław, 2006, 218–230.
- [12] Jankowski L., Engel L., Jasieńko J. Praca statyczna wybranych połączeń występujących w drewnianych obiektach historycznych. Wiadomości Konserwatorskie – Journal of Heritage Conservation 2005;18:29–41.
- [13] Jasieńko J., Nowak T., Karolak A. Historyczne złącza ciesielskie. Wiadomości Konserwatorskie – Journal of Heritage Conservation 2014;40:58–82.

Streszczenie

W pracy została poruszona tematyka przekształcenia konstrukcji i przestrzeni dachowych założeń zabytkowych na przykładzie dworu Sarny w Ścinawce Górnej. Praca prezentuje aktualny stan wiedzy dotyczącej historii dworu. Historyczna dokumentacja obiektu przedstawiająca rozwiązania konstrukcyjne przyjmowane od XVII wieku pomogła przy wyborze odpowiednich rozwiązań konserwatorskich. Następnie przedstawiono możliwości zastosowania nowych rozwiązań konstrukcyjnych dla więźby dachowej obiektu dworskiego, które umożliwią adaptację jego przestrzeni wewnętrznych do nowych funkcji. W pracy przedstawiono ponadto opis oraz analizę pracy statycznej wybranych połączeń ciesielskich więźby dachowej.

Abstract

The paper discusses issues related to the modification of roof structure and roof space of heritage buildings with reference to the example of the Sarny Manor House located in Ścinawka Górna. The paper presents what is known today about the history of the Manor House. Historical sources and documents concerning structural solutions, which had been applied in the Manor House since the 17th century, helped in the selection of the most appropriate conservation methods. Application of contemporary structural solutions to the building's roof structure is also discussed. The solutions enabled adaption of the interior spaces of the Manor House to new uses. A description of selected carpentry joints in the roof structure and analysis of their static behaviour are also presented in the paper.