

Projekt naprawy konstrukcji dachu budynku zabytkowego

Inż. Aleksandra Zakrzewska, dr inż. Elżbieta Grochowska – promotor, Uniwersytet Zielonogórski, Wydział Budownictwa, Architektury i Inżynierii Środowiska

1. Wprowadzenie

Przebudowy i restauracje istniejących obiektów są w dzisiejszych czasach coraz popularniejsze. Wiele budynków wymaga gruntownej modernizacji i adaptacji do nowych funkcji użytkowych. Współczesne budownictwo musi więc skupiać się na czynnościach takich jak wzmocnienie obiektów starszych, ulegających niszczeniu ze względu na swój wiek i uszkodzenia powstałe w przeszłości, których przyczyny wciąż nie zostały usunięte. Specjalne znaczenie w tym kontekście mają obiekty zabytkowe, które ze względu na swoją wartość historyczną, artystyczną czy naukową podlegają szczególnej ochronie. Naprawy i renowacje są w przypadku zabytków nakierowane na zachowanie charakterystycznych cech obiektu. Nadanie mu nowych funkcji czy dokonanie wymiany elementów konstrukcyjnych i wykończeniowych ściśle wiąże się wówczas z koniecznością konsolidacji materii istniejącej i nowej oraz zachowania zgodności z założeniami konserwatorskimi.

Przedmiotem opracowania jest projekt naprawy, a właściwie całkowitej wymiany konstrukcji dachu w zabytkowym budynku pałacowym zlokalizowanym w województwie lubuskim, w dzielnicy Zielonej Góry – Nowym Kisielinie. Istniejąca więźba jest wykonana jako drewniana, a w opracowaniu przedstawiono propozycję realizacji konstrukcji dachu z elementów stalowych.

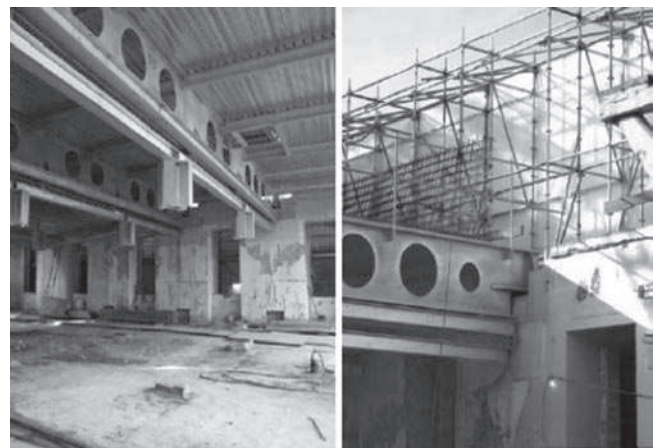


Rys. 1. Drewniana konstrukcja klasztoru Bernardynów w fazie demontażu, źródło: [W1]

2. Stosowane rozwiązania technologiczne

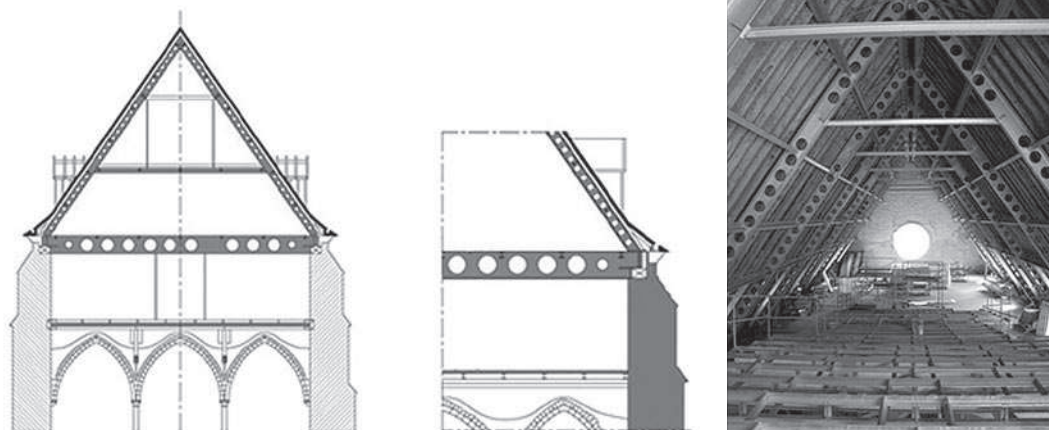
W przebudowie i wzmocnianiu obiektów istniejących można stosować różne metody odnawiania. Jednym z lepszych i częściej wykorzystywanych rozwiązań jest zastosowanie w procesach naprawy i odbudowy materiału, jakim jest stal, zarówno w postaci detali wzmacniających i łączących, jak również jako samodzielnych elementów konstrukcyjnych. Jest to możliwe ze względu na szereg cech stali, które sprawiają, że efektywne i opłacalne jest jej zastosowanie. Najważniejszą z tych właściwości jest duża wytrzymałość konstrukcji przy stosunkowej lekkości jej elementów oraz szybkość realizacji prac, ze względu na to, iż elementy montażowe są docinane i przygotowywane do wstawienia w odpowiednie miejsce już w zakładzie prefabrykacji. Znaczenie ma też tak zwana odwracalność konstrukcji stalowych, realizowana poprzez zastosowanie połączeń śrubowych. Niezwykle duży nacisk jest obecnie kładziony na projektowanie z uwzględnieniem założeń zrównoważonego rozwoju, w co wpisuje się planowanie wykorzystania stali jako elementów konstrukcyjnych, ponieważ może być ona ponownie wykorzystywana, a przy jej produkcji niekorzystne oddziaływanie na środowisko jest stosunkowo niewielkie.

Współcześnie w wielu budynkach na świecie wykonywane są zarówno renowacje, jak również odnowienia i rozbudowy w oparciu o konstrukcje stalowe. Częstym rozwiązaniem jest

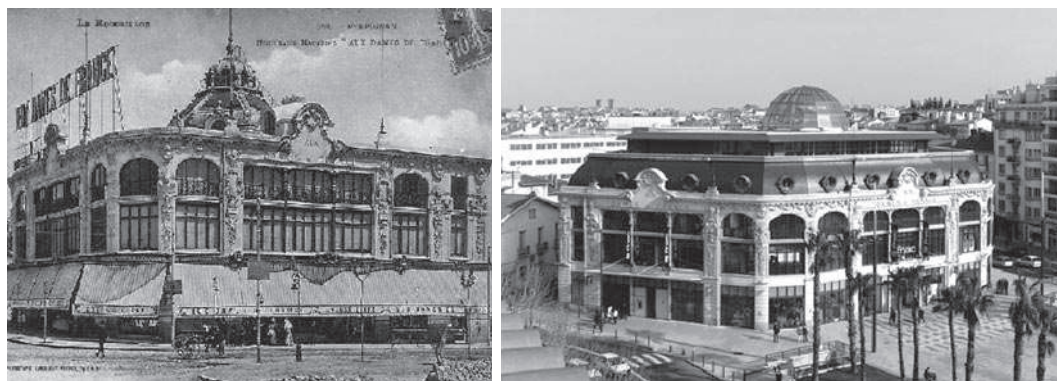


Rys. 2. Ażurowa belka stalowa i ściąg stropowe w klasztorze Bernardynów, źródło: [W1]

Rys. 3. Stalowy więzard dachowy zastosowany w klasztorze Bernardyńskim, źródło: [W1]



Rys. 4. Galeria Dames de France w Paryżu, po lewej – przed modernizacją, po prawej – po modernizacji, źródło: [W2] i [W3]



rozbiórka wszystkich elementów nośnych obiektów historycznych, które z różnych przyczyn uległy zniszczeniu, i wypełnienie obiektu nowym szkieletem przy zachowaniu dotychczasowego wyglądu fasad. Najważniejszym aspektem w tego rodzaju pracach jest zharmonizowanie nowych elementów stalowych z materiałem istniejącą zarówno pod względem konstrukcyjnym, jak i estetycznym. Niezwykle istotne jest na etapie projektowania wzięcie pod uwagę nowego sposobu użytkowania obiektu i takie wkomponowanie nowych elementów, które nie będą go zakłócać.

Ciekawym przykładem renowacji przy wykorzystaniu elementów stalowych są prace prowadzone w XVI-wiecznym klasztorze Bernardynów we Włoszech. Całkowicie wymieniono tam stropy oraz drewnianą konstrukcję nośną (rys. 1). Było to związane ze zmianą funkcji budynku.

Zastosowane zostały stalowe belki ażurowe i płyta wylewana na stropie zespolonym. Belki takie zostały również zastosowane do podtrzymania konstrukcji szkieletowej (rys. 2). Stalowe są również więzary konstrukcji dachu, które okazały się rozwiązaniem lżejszym i trwalszym od tradycyjnej więzby drewnianej (rys. 3).

Innym przykładem zastosowania stali jako wiodącego materiału przy modernizacji budynku jest wykonanie konstrukcji pod kopułę w galerii Dames de France w Paryżu. Pierwotnie murowaną, ozdobną, ale bardzo zniszczoną kopułę zastąpiono nową, utrzymaną w duchu nowoczesności, szklaną kopułą na szkieletowej konstrukcji stalowej o średnicy 10 m (rys. 4).

Fasady obiektu zostały wykonane w bezpośrednim nawiązaniu do pierwotnych, zadbano również o wykonanie zbliżonej formą i wyglądem do oryginalnej stolarki okiennej. Zdarzają się obiekty, w których konieczna jest całkowita zmiana funkcji oraz wyglądu i wiąże się to z koniecznością przestoczenia pierwotnych cech budynku, w tym również układu konstrukcyjnego. Realizowane to może być poprzez całkowitą wymianę wnętrza przy zachowaniu dotychczasowej formy fasad i dachu obiektu. Przykładem takich prac jest budynek Romerhof w Zurychu, który z niszczącej szlacheckiej kamienicy został przekształcony na biurowiec – obecnie mieści się tam siedziba jednego ze szwajcarskich banków (rys. 5). Drewniane więzby dachowe przekrywające obiekty zabytkowe bardzo często są w bardzo złym stanie technicznym ze względu na wnikanie do budowli wilgoci i związanej z tym aktywności owadów i grzybów. Często jedynym rozwiązaniem w takiej sytuacji jest zastąpienie dotychczasowej konstrukcji przez stalową więźbę wykonaną z kształtowników walcowanych na gorąco. Przykładem jest tutaj pałac książęcy w Genewie, w którym wykonano stalową konstrukcję więzby dachowej dla dachu czterospadowego (rys. 6). Głównymi elementami były tutaj kątowniki równoramienne oraz dwuteowniki normalne, a większość połączeń zostało wykonanych jako spawane.

Kościół pod wezwaniem św. Jana Battisty we włoskiej miejscowości Carife stanowi przykład zastosowania stalowej więzby dachowej w celu uzyskania sztywnej pracy całej murowanej konstrukcji obiektu w sytuacji działających obciążeń

Rys. 5. Budynek Romerhof w Zurychu, po lewej – fasada obiektu, po prawej – przekrój przez nową konstrukcję stalową umieszczoną wewnątrz obiektu, źródło: [W4]



Rys. 6. Pałac księżcy w Genui, po lewej – stalowa konstrukcja więźby dachowej, po prawej – fasada obiektu, źródło: [W4], [W5]



sejsmicznych (rys. 7). Stalowe dźwigary kratowe dodatkowo wyposażone w dynamiczne tłumiki olejowe pozwalają na zminimalizowanie efektów często pojawiających się w tym rejonie drgań tektonicznych. Konstrukcja została wykonana z dwuteowników normalnych i szerokostopowych, a przeważająca część połączeń jest spawana.

W Polsce od pewnego czasu również można zauważyć rosnące zainteresowanie konstrukcjami stalowymi, w tym wykonywaniem więźb dachowych z tego materiału. Kompleksowe realizacje takich konstrukcji stosowane są obecnie raczej w obiektach nowych, ale należy się spodziewać, że w niedalekiej przyszłości również w naszym kraju pojawią się realizacje podobne do tych europejskich i w obiektach zabytkowych zniszczone drewniane więźby dachowe będą wymieniane na konstrukcje stalowe. Bardzo prawdopodobne

jest to, że projektowane struktury będą podobne do tych, jakie wykonywane są obecnie na nowo wznoszonych kościołach w Polsce. Przykładem może być wzniesiony w roku 2009 kościół w Bolechowie w województwie wielkopolskim, przekryty ważącą 40 ton stalową konstrukcją dachu (rys. 8).

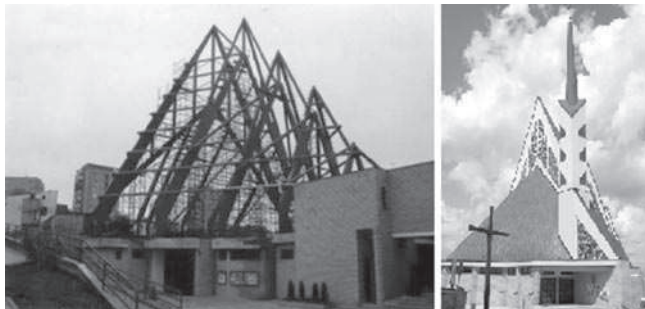
W roku 2002 zakończyła się budowa kościoła pod wezwaniem św. Maksymiliana Kolbe w Gdańsku. Nowoczesna forma została w nim zrealizowana dzięki możliwościom konstrukcyjnym, jakie daje stal (rys. 9). Dzięki dużej wytrzymałości elementów o stosunkowo niewielkich wymiarach przekroju można było dopasować konstrukcję obiektu do jego skomplikowanej architektury.

Również w Zielonej Górze zobaczyć można przykład realizacji dużego obiektu, który przekryty został stalową więźbą dachową. Jest to wciąż jeszcze wznoszony kościół

Rys. 7. Kościół Jana Battisty we Włoszech, po lewej – stalowe kratowe dźwigary dachowe, po prawej – fasada obiektu, źródło: [W5], [W6]



Rys. 8. Kościół w Bolechowie ze stalową więźbą dachową, źródło: [W7]



Rys. 9. Kościół pw. św. Maksymiliana Kolbe w Gdańsku, po lewej – stalowa więźba dachowa w trakcie budowy, po prawej – fasada obiektu, źródło: [W8]

św. Franciszka z Asyżu (rys. 10). Oryginalna forma wykreowana przez architektów musiała otrzymać realne kształty i stało się tak przy wykorzystaniu możliwości konstrukcji stalowych. Przewiduje się, że elementy będą bardzo trwałe, a ich ewentualna wymiana w przyszłości będzie prosta ze względu na zastosowanie rozbiernych połączeń śrubowych. Powyższe przykłady wykazują, że coraz powszechniejsze jest zastosowanie stali jako materiału, który dobrze wpisuje się w otoczenie materiałów tradycyjnych, a dzięki swoim parametrom wytrzymałościowym pozwala na zapewnienie odpowiednich nośności, jak również pożądanego kształtu konstrukcji.

3. Rys historyczny pałacu w Nowym Kisielinie, charakterystyka i opis stanu technicznego

Pałac w Nowym Kisielinie położony jest przy ulicy Odrzańskiej 17. Od 1 stycznia 2015 roku wieś stała się osiedlem administracyjnym Zielonej Góry. Działka numer 15/25, na której usytuowany jest budynek, ma powierzchnię około

4,78 ha i należy do Uniwersytetu Zielonogórskiego. Obiekt położony jest w północnej części działki przy głównej drodze biegnącej przez Nowy Kisielin (rys. 11). Na działce usytuowane są również zabudowania gospodarcze, stanowiące pierwotnie zaplecze pałacu. Do obiektu doprowadzone są instalacje: elektryczna i wodno-kanalizacyjna. Wieś Nowy Kisielin jest wymieniana w licznych dokumentach pochodzących nawet z okresu średniowiecza. Najwcześniejsze wzmianki o właścicielach posiadłości znajdujących się na tym terenie pochodzą z końca XV wieku. Ówczesnie Nowy Kisielin nie stanowił samodzielnej wsi, lecz wchodził w skład dóbr ziemskich wraz z sąsiednimi miejscowościami – Starym Kisielinem, Droszkowem i Przytokiem. W latach ok. 1614–1680 Nowy Kisielin znajdował się w rękach rodziny von Stentsch – właścicieli Przytoka. Na skutek podziału majątku, w czerwcu 1681 roku, wydzielono odrębne dobra Nowego Kiselina. Samodzielność tego terenu trwała do roku 1773.



Rys. 11. Usytuowanie obiektu na działce, źródło: Geoportal



Rys. 10. Kościół św. Franciszka z Asyżu w Zielonej Górze, konstrukcja więźby dachowej i fasada obiektu, źródło: [W9], [W10]



Rys. 12. Fasada obiektu, widok od strony południowej, źródło: fotografia własna

Po otrzymaniu od ojca części majątku Wenzel Rudholph von Stentsch zaczął rozwijać swoją zabudowę, dokupując dodatkową parcelę przylegającą do jego ziem. Postanowił również wznieść dla siebie i swojej rodziny siedzibę, którą miał stać się opisywany pałac. Nieznana jest dokładna data rozpoczęcia i zakończenia budowy, przyjmuje się, że obiekt został wzniesiony około roku 1700. Pierwsza wiarygodna wzmianka o budowlu pochodzi z roku 1729. Opisano wówczas pojedynek na szpady, do którego doszło podczas uroczystości właśnie w pałacu w Nowym Kisielinie. Po kilkunastu latach od budowy Wenzel Rudholph przekazał odziedziczony i rozwinięty majątek swojemu synowi. Ten jednak ze względu na problemy finansowe zmuszony był oddać majątek Johannowi Fabianowi von Grunberg z Jeleniowa, który w roku 1716 sprzedał go członkowi rodziny von Hock. Nabywca ziem zmarł w roku 1766, pozostawiając swój majątek synowi, który to sprzedał go w roku 1773 Maxowi Adolphowi von Stentsch – wówczas właścicielowi pobliskiego Przytoka – co sprawiło, że Nowy Kisielin przestał być samodzielnym majątkiem ziemskim, jednak nie na długo. W roku 1791 ziemie Nowego Kisielina wraz z pałacem i zabudowaniami nabywa Johann Stefan Bojanowski. Od tego czasu aż do roku 1945 Nowy Kisielin pozostaje samodzielnym majątkiem, ale jeszcze kilkakrotnie zmienia właścicieli [6].

Kolejnym etapem w historii pałacu jest jego przejęcie przez Kombinat Państwowych Gospodarstw Rolnych w Zielonej Górze. Stało się tak ze względu na ucieczkę w roku 1945 ówczesnych właścicieli, niemieckiej rodziny von Pfeil w obawie przed zbliżającym się frontem radzieckim. Na skutek zmian

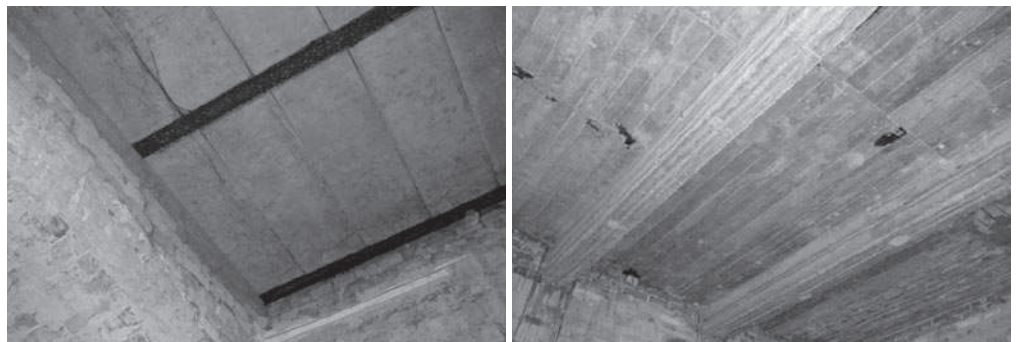


Rys. 13. Fasada obiektu wzbogacona o ryzalit, widok od strony północnej, źródło: fotografia własna

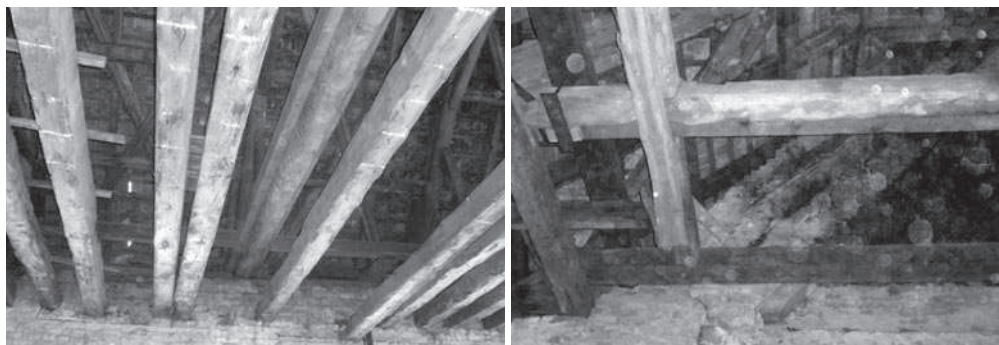
w administracyjnych granicach Rzeczypospolitej Polskiej obiekt przeszedł na własność skarbu państwa i został przekazany władzom Kombinatoru PGR w Zielonej Górze. W roku 1980 obiekt przeszedł remont, którego celem było wykonanie bieżących napraw oraz przystosowanie budynku do nowej funkcji, jaką była stołówka pracownicza. Po przekształceniach polityczno-społecznych lat 80. i 90. XX wieku oraz likwidacji Państwowych Gospodarstw Rolnych obiekt wraz z przyległymi terenami przeszedł na własność Uniwersytetu Zielonogórskiego. Przez pewien czas wykorzystywano go jako zaplecze techniczne Mini Zoo, zarządzanego przez Wydział Nauk Biologicznych, jednakże obecnie jest on nieużytkowany.

Architektura pałacu ma znamiona tak zwanego śląskiego baroku. Jest to budynek dwukondygnacyjny, podpiwniczny, wzniesiony na planie prostokąta, wzbogacony o ryzalit od strony północnej i pseudoryzalit od strony południowej (rys. 12, 13). Budynek wzniesiono z cegły o układzie blokowym i zamknięto czterospadowym dachem krytym dachówką. Barokowa jest zarówno bryła obiektu, podkreślona pierwotnie dosyć skromną dekoracją w postaci portalu z przerywanym naczółkiem czy boniowanych naroży, jak również wnętrza – tu charakterystyczny jest układ sypialni z przyległymi alkowami czy bogate dekoracje sztukatorskie. Powszechnym, często występującym w dworkach śląskich z tego okresu, rozwiązaniem jest skierowanie głównego wejścia do obiektu w stronę ogrodu i dziedzińca. Wejście to jest przesklepione łukiem pełnym znajdującym się na osi fasady. Od strony zachodniej do pałacu przylega wzniesiona w XX wieku przybudówka, która zgodnie z wytycznymi

Rys. 14. Istniejące stropy nad przyziemiem. Po lewej – strop WPS, po prawej – strop żelbetowy monolityczny, źródło: inwentaryzacja z roku 2013 [8]



Rys. 15. Stan stropów drewnianych belkowych nad piętrem, źródło: inwentaryzacja z roku 2013 [8]



konserwatorskimi powinna zostać wyburzona w czasie kapitalnego remontu obiektu.

Pałac wzniesiony jest na rzucie prostokąta o wymiarach 16x30 m. Charakterystycznym elementem bryły budynku są ryzality, czyli wysunięcia lica elewacji biegnące w środkowej części fasady, prowadzone od fundamentów po dach. Od strony południowej wysunięcie to jest mniejsze niż od strony północnej, więc należałoby uznać je za pseudoryzalit. Nad bryłą główną pałacu wykonany jest dach czterospadowy, który przekryty jest dachówką karpiówką ułożoną w koronkę. Nad ryzalitami wyprowadzone są ścianki szczytowe, powodujące powstanie dwóch krótkich dachów prostopadłych do głównej połaci. Istniejąca drewniana więźba dachowa jest wykonana w konstrukcji jętkowo-płatwiowej ze słupami stolcowymi. Pracuje ona niezależnie od stropu nad piętrem.

Główne wejście do pałacu prowadzi do przesklepionej sieni. Po jej obu stronach znajdują się drzwi do pomieszczeń we wschodniej i zachodniej części budynku. Na wschodniej ścianie znajduje się klatka schodowa. Prowadzi ona do piwnic, których cechą charakterystyczną są sklepienia ceglane kolebkowe i podział na szereg mniejszych pomieszczeń. Na piętrze, podobnie jak w poziomie przyziemia, znajdują się duże, widne pomieszczenia, połączone szerokimi korytarzami. Kilka pomieszczeń, w tym największa sala balowa znajdująca się na piętrze, zostały współcześnie podzielone na mniejsze pomieszczenia ścianami działowymi. Wdrożenie koncepcji zmiany funkcji obiektu na uczelniane centrum konferencyjne wymagałoby przywrócenia pomieszczeniom pierwotnego podziału. Wymianie lub wzmocnieniom musiałyby ulec również stropy. Obecnie nad częścią powierzchni przyziemia wykonane są sklepienia kolebkowe z cegły na zaprawie wapiennej, których stan techniczny jest dobry. Nad częścią parteru wykonane są drewniane stropy belkowe z polepą glinianą oraz podsufitką z desek. Stropy te wykazują wysoki stopień zużycia, a dodatkowo zostały zaatakowane przez owady i grzyby [22]. Nad czterema pomieszczeniami wykonane są dobrze zachowane stropy stalowo-żelbetowe typu WPS na belkach z dwuteowników o wysokości 220 mm. Nad jednym z pomieszczeń jest zaś strop żelbetowy monolityczny. Dwa ostatnie

rodzaje stropów zostały wykonane w XX wieku (rys. 14). Stropy nad piętrem są częściowo rozebrane. Zachowane zostały jedynie belki drewniane, które są sukcesywnie demontowane i rozkradane (rys. 15). Zagospodarowanie obiektu wiąże się z koniecznością wykonania nowych stropów nad piętrem, z uwzględnieniem faktu, iż poddasze będzie użytkowane. Proponuje się wykonanie trwałych stropów zespolonych z szalunkiem traconym z blachy fałdowej lub stropów stalowo-żelbetowych typu WPS. Zapewnią one przeniesienie obciążeń użytkowych i będą stanowić trwałe elementy konstrukcyjne. Zarówno w przypadku stropów typu WPS, jak i stropu zespolonego, użycie stalowych belek będzie wskazane ze względu na stosunkową łatwość ich montażu i dobrą konsolidację z materią istniejącą.

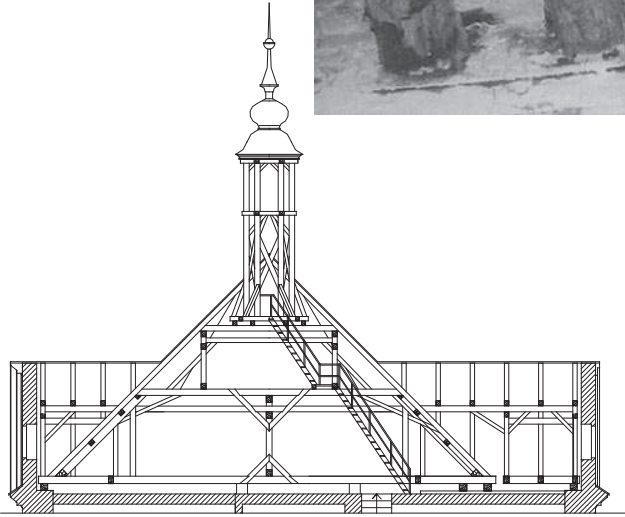
Ważnym elementem dekoracyjnym pałacu jest zwieńczająca dach wieżyczka z latarnią i cebulastym hełmem (rys. 16). Drewniana konstrukcja wieżyczki pokryta jest niszczejącą blachą miedzianą. Inwentaryzacja z roku 2013 [8] potwierdziła, że również ten element wymaga naprawy i konserwacji. Należałoby oczyścić blachę miedzianą z zanieczyszczeń i zabezpieczyć ją odpowiednimi środkami przed niszczeniem, zaś elementy drewniane oczyścić lub wymienić na nowe o wymiarach identycznych jak istniejące.

Ostatnia ocena stanu technicznego obiektu pochodzi z roku 2013 [8]. Stwierdzono wówczas zły stan techniczny więźby



Rys. 16. Wieżyczka zwieńczająca dach pałacu, źródło: fotografia własna, rysunek z inwentaryzacji z roku 2013 [8]

Rys. 17. Elementy więźby dachowej porażone przez zarodniki grzyba domowego i niszczone przez owady, źródło: badanie mykologiczne z roku 2013 [8]



Rys. 18. Przekrój przez istniejącą więźbę dachową

dachowej. Przeprowadzono badania mykologiczne, które wykazały, że jej elementy są niszczone przez owady gatunku spuszczel pospolity i kołatek domowy, a także porażone przez grzyba domowego właściwego (rys. 17). Wskazano również, że na stan więźby dachowej ma wpływ wilgoć, która panuje w obiekcie ze względu na nieszczelności pokrycia dachowego oraz otworów okiennych i drzwiowych. Brak wielu dachówek i gąsiorów, a także nieszczelności stolarki otworowej powodują przenikanie wody do obiektu, co sprzyja rozwojowi grzybów.

W zapisach poinwentaryzacyjnych z roku 2013 postulowano wymianę najbardziej zniszczonych elementów oraz zastosowanie stalowych ściąгов wzmacniających. Ze względu na to, że po roku 2013 obiekt był nieużytkowany i niewłaściwie zabezpieczony, część elementów drewnianych więźby dachowej została wyciętych i rozkradzionych. Dlatego obecnym postulatem naprawy tej konstrukcji jest całkowita wymiana elementów drewnianych na stalowe.

Pozyskane od zarządcy nieruchomości oraz lubuskiego wojewódzkiego konserwatora zabytków informacje na temat obiektu zawierają wypisy z inwentaryzacji obiektu, które miały miejsce w latach 1980, 2004 i 2013. Pozwoliły one na uzyskanie danych dotyczących istniejącej konstrukcji obiektu, jego stanu technicznego oraz wyników badań mykologicznych istniejącej drewnianej więźby dachowej. Analiza tych dokumentów oraz kilkakrotne dokładne oględziny obiektu pozwoliły stwierdzić, że ze względu na zły stan techniczny obiektu wymaga on gruntownego remontu. Szczególną uwagę poświęcono więźbie dachowej, która już podczas wspomnianych inwentaryzacji była wymieniana jako część obiektu wymagająca

naprawy. Obecnie dodatkowo została zniszczona na skutek wilgoci, która wnika do obiektu przez nieszczelności pokrycia dachowego oraz okien, a także w wyniku rozkradania elementów drewnianych ze względu na niewłaściwe zabezpieczenie obiektu przed dostępem osób niepożądanych.

Ze względu na to, że obiekt obecnie jest nieużytkowany, projekt naprawy dachu obejmuje również koncepcję zagospodarowania poddasza, co bezpośrednio wiąże się z koniecznością modernizacji i adaptacji całego budynku. Przewiduje się, że obiekt jako własność Uniwersytetu Zielonogórskiego mógłby stać się centrum konferencyjnym służącym organizacji wydarzeń naukowych i kulturalnych, z dużą salą konferencyjną, salą bankietową, jadalnią i pokojami gościnnymi, na przystosowanym do tej funkcji poddaszu. Pałacowy klimat, ogromne przestrzenie i zabytkowy charakter obiektu z pewnością uczyniłyby pobyt w tym budynku bardzo przyjemnym.

Niniejsze opracowanie pozostawia jednak tę kwestię otwartą, skupiając się na projekcie samej więźby dachowej. Inne elementy, które proponuje się wykonać w procesie modernizacji obiektu, zostały wspomniane w opisie technicznym obiektu.

4. Projekt naprawy konstrukcji dachu

4.1. Założenia wyjściowe

Pałac jest obiektem zabytkowym, dlatego każdy rodzaj prac budowlanych musi być w nim przeprowadzany ze szczególną ostrożnością i pieczołowitością. Zgodnie z zapisami karty obiektu znajdującej się w Wojewódzkim Urzędzie Ochrony Zabytków konserwator zaleca wykonanie kapitalnego remontu obiektu, a jedynym wpisanym postulatem konserwatorskim jest zapis dotyczący konieczności uwzględnienia zrekonstruowania dawnego wyglądu elewacji podczas remontu. Nie zmienia to jednak faktu, że przeprowadzenie opisanej w niniejszym projekcie wymiany więźby dachowej musi być poparte odpowiednim pozwoleniem na budowę i poprzedzone dodatkowymi konsultacjami z konserwatorem zabytków w zakresie wprowadzanych rozwiązań. Na potrzeby projektu przyjęto, iż w kwestii naprawy więźby dachowej zaleceniem konserwatorskim będzie utrzymanie obecnej bryły dachu, realizowane poprzez zachowanie istniejących spadków połaci dachowej oraz odnowienie i ponowne umieszczenie we właściwym miejscu ozdobnej wieżyczki. Założono również,

PRACE DYPLMOWE

że niezbędne będzie wykonanie nowego pokrycia dachowego, przypominającego obecne.

Do wykonania obliczeń statyczno-wytrzymałościowych wykorzystano programy komputerowe: Soldis Projektant 2016 oraz Autodesk Robot Structural Analysis Professional 2018. Rysunki wykonano w programie AutoCAD 2016 z wykorzystaniem nakładki BiKEdu AutoCAD.

4.2. Charakterystyka techniczna obiektu i jego otoczenia

Przedmiotem opracowania jest wymiana więźby dachowej w pałacu w Nowym Kisielinie należącym do Uniwersytetu Zielonogórskiego. Budynek wpisany jest na listę zabytków lubuskiego konserwatora zabytków pod numerem 2038. Na działce numer 15/25 o powierzchni 4,78 ha poza pałacem znajduje się dobudówka do pałacu oraz budynki gospodarcze. Działki przyległe o numerach 15/15-15/24, będące własnością tego samego właściciela, są działkami zalesionymi. Pozostałe działki sąsiednie zajmują zabudowania mieszkalne i gospodarcze (działki 15/9, 15/10, 99, 100/1, 100/2) oraz drogi i dojazdy (działki 27/1, 28, 258/3). Otoczenie pałacu jest obecnie niezagospodarowane.

W związku ze zmianą funkcji obiektu przewiduje się wyznaczenie placu na miejsca parkingowe, ogrodzenie terenu, wykonanie chodników i ścieżek spacerowych na terenie całej działki oraz zagospodarowanie terenu zielonego na cele rekreacyjne.

Powierzchnia zabudowy wynosi 654,3 m², zaś jego kubatura to około 9600 m³. Powierzchnia użytkowa to 1154,4 m². Jest to budynek dwukondygnacyjny, podpiwniczony, wzniesiony na planie prostokąta. Bryłę wzbogaca występujący po północnej stronie ryzalit i pseudoryzalit po stronie południowej. Obiekt murowany, z cegły o układzie blokowym, otynkowany, zamknięty czterospadowym dachem krytym dachówką ceramiczną układaną w koronkę.

Fundamenty wykonano jako ławy fundamentowe z cegły ceramicznej pełnej, uzupełnianej kamieniami, na zaprawie glinianej i wapiennej. Mury konstrukcyjne zewnętrzne i wewnętrzne wykonane z cegły pełnej na zaprawie wapiennej. Grubość murów: 135 cm w poziomie piwnic, 124 cm na parterze, 112 cm na piętrze. Ściany działowe, wzniesione w okresie późniejszym, wykonane z cegły pełnej i cegły dziurawki na zaprawie cementowo-wapiennej. Grubość ścian działowych to 6, 12 i 25 cm. Piwnice w całości przekryte stropem ceglany kłobkowany. Na poziomie parteru nad kilkoma pomieszczeniami wykonano stropy ceglano kłobkami. Część przyziemia przekryto stropem drewnianym belkowym polepą glinianą i podsufitką z desek. Nad czterema pomieszczeniami wykonano w okresie późniejszym stropy stalowo-żelbetowe typu WPS na belkach z dwuteownika I220. Stropy nad piętrzem zostały częściowo rozebrane, widoczne są pojedyncze gołe belki drewniane stropu. Nad klatką schodową wykonano strop stalowo-żelbetowy WPS na belkach z dwuteowników IPE180. Istniejąca więźba dachowa to więźba drewniana

typu jętkowo-płatwiowego z dwoma poziomami słupów, konstrukcja pracuje niezależnie od stropu nad piętrzem, usytuowana jest około 50 cm nad tym stropem.

Projektowana więźba dachowa to więźba stalowa typu krokiewno-płatwiowego. Krokwie pośrednie i koszowe wykonane z dwuteownika IPE200, krokiew narożna wykonana z dwuteownika HEB 200. Płatwie pośrednie podpierające krokwie wykonane z dwuteownika HEB 200. Słupy wspierające płatwie pośrednie wykonane z dwuteownika HEB 200 opierają się na belce dolnej więzara wykonanej z dwuteownika HEB 300, ze środkowym wzmocnionym żebrami poprzecznymi w miejscu oparcia słupów. Belki dolne oparte na istniejącym murze. Namurnice wykonane z dwuteowników HEB 300, wzmocnione żebrami poprzecznymi w miejscu oparcia krokwi. Zastrzały więzara głównego wykonane z rury kwadratowej RK 50x50x5. Połączenia między elementami spawane za pomocą elektrod E46 4B i połączenia śrubowe na śruby M16 i M20 klasy 8.8.

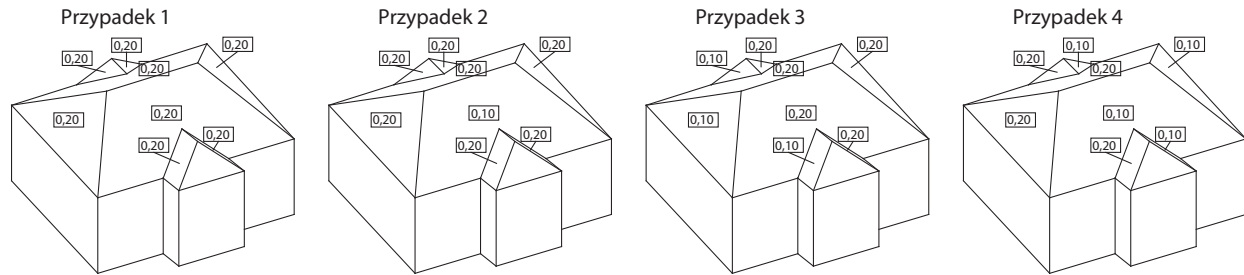
Dach kryty dachówką karpiówką układaną w koronkę. Projektowane warstwy pokrycia dachowego przedstawiono w tabeli 1.

Tabela 1. Obciążenia stałe generowane przez elementy niekonstrukcyjne dachu

Lp.	Nazwa elementu generującego obciążenie	Ciężar elementu zgodnie z normą lub danymi producenta
1.	Więzyczka	-
2.	Dachówka cementowa karpiówka układana podwójnie w koronkę	0,750 kN/m ²
3.	Łaty drewniane o przekroju 4x5 cm wykonane z drewna sosnowego, rozstaw 30 cm	5,5 kg/m ³
4.	Kontrłaty drewniane o przekroju 4x2,5 cm wykonane z drewna sosnowego, rozstaw 150 cm	5,5 kg/m ³
5.	Membrana dachowa EUROTOP N50	150,0 g/m ²
6.	Folia niskoparoprzepuszczalna KF 96 SILVER	98,0 g/m ²
7.	Wełna mineralna MEGAROCK ROCKWOOL grubości 25 cm	0,28 kN/m ³
8.	Folia paroizolacyjna TERMOFOL 115 Top	115,0 g/m ²
9.	Podwójna płyta gipsowo-kartonowa grubości 12,5 mm na ruszcie metalowym	12,0 kN/m ³

4.3. Obciążenia działające na więźbę dachową

Wyznaczenie wartości charakterystycznych obciążeń pochodzących od elementów pokrycia dachowego oraz ustalenie przybliżonej wartości dodatkowego obciążenia generowanego przez wieżę pałacu na podstawie przyjętych założeń zostało przeprowadzone zgodnie z normami budowlanymi oraz wytycznymi producentów poszczególnych elementów.



Rys. 19. Wybrane kombinacje obciążenia śniegiem (wartości obciążenia w kN/m^2)

Ciężar wieżyczki zwińcającej konstrukcję dachu, wyrażony w postaci siły skupionej odpowiadającej sumie sił generowanych przez poszczególne części wieżyczki został obliczony na podstawie wymiarów zaczerpniętych z opracowania rysunkowego inwentaryzacji budynku. W celu usystematyzowania obliczeń konstrukcja wieżyczki została podzielona na część drewnianą, obróbki blacharskie oraz zwińczenie.

Łączne obciążenie generowane przez wieżyczkę wyrażone w postaci siły skupionej obliczono jako 55,9 kN, zaś dodatkowe obciążenie od wieżyczki w przeliczeniu na 1 m^2 rzutu połaci dachu to około $0,10 \text{ kN/m}^2$.

4.4. Obciążenie śniegiem

Zgodnie z [N3] budynek zlokalizowany jest w 1 strefie obciążenia śniegiem. Wysokość terenu w miejscu lokalizacji obiektu przyjęto jako 110 m n.p.m. Wartość charakterystyczna obciążenia śniegiem gruntu wynosi $0,70 \text{ kN/m}^2$. Ze względu na złożony kształt dachu uwzględnienie wszystkich przypadków obciążenia śniegiem wymagałoby rozwiązania 64 kombinacji. Do dalszych obliczeń wybrano 4 najbardziej niekorzystne i pokazano na rysunku 19.

4.5. Oddziaływanie wiatru

Budynek zlokalizowany jest w 1 strefie obciążenia wiatrem. Przyjęto kategorię terenu III, co odpowiada obszarom regularnie pokrytym roślinnością albo budynkami z pojedynczymi przeszkodami oddalonymi od siebie na odległość nie większą niż 20 ich wysokości, takim jak wsie, tereny podmiejskie, stałe lasy. Na podstawie tych danych przyjęto bazową prędkość i ciśnienie prędkości wiatru oraz pozostałe niezbędne parametry.

Rozpatrzono dwa przypadki – przypadek A, kiedy wiatr wieje na ścianę podłużną ($\theta = 0^\circ$) oraz przypadek B, kiedy wiatr wieje na ścianę poprzeczną ($\theta = 90^\circ$). Uzyskane wyniki prezentują rysunki 20 i 21.

4.6. Obciążenie zmienne

Analizowany dach można zakwalifikować do kategorii użytkowania H, do której należą dachy bez dostępu, z wyjątkiem zwykłego utrzymania i napraw. Zakłada się

występowanie obciążenia użytkowego w postaci obciążenia równomiernie rozłożonego.

4.7. Zestawienie obciążeń działających na dach

Zestawienie zawiera obciążenia dla najbardziej niekorzystnej kombinacji i najbardziej obciążonej połaci dachu – na takie obciążenia zostaną zaprojektowane elementy konstrukcji więźby dachowej takie jak krokwie, płatwie i słupy.

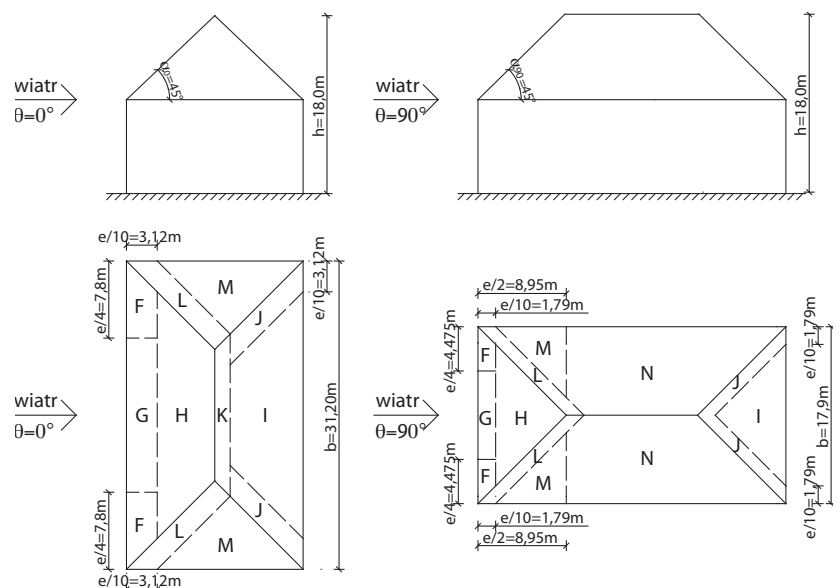
Obciążenie wiatru w obliczeniach uwzględniono jako wartość największego parcia, ssanie wiatru pomija się, ze względu na jego działanie korzystne, tzn. ze względu na to, że maksymalna wartość ssania jest znacznie mniejsza od sumy obciążeń stałych, pomija się sytuację niekorzystnego oddziaływania od ssania wiatru. Wyniki zestawione są w tabeli 2.

4.8. Projektowanie poszczególnych elementów konstrukcyjnych

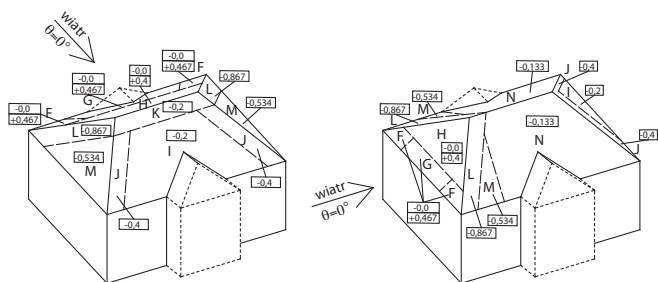
Projektowanie rozpoczęto od krokwi pośrednich, narożnych i koszykowych. Schemat ich rozmieszczenia prezentuje rysunek 22.

Krokiew pośrednia została zaprojektowana jako dwuteownik IPE 200. Dla wyznaczonych w programie Soldis Projektant sił wewnętrznych sprawdzono warunki SGN oraz SGU.

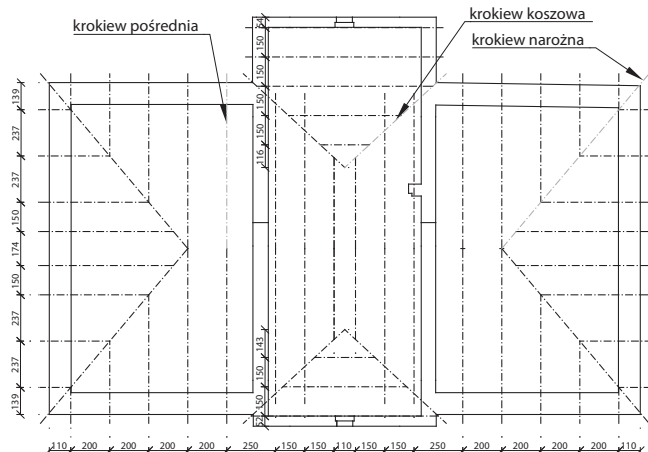
Krokiew narożną zwymiarowano na podstawie sił wewnętrznych wyznaczonych po zebraniu obciążeń zgodnie



Rys. 20. Oznaczenia dachów czterospadowych wg [N4]



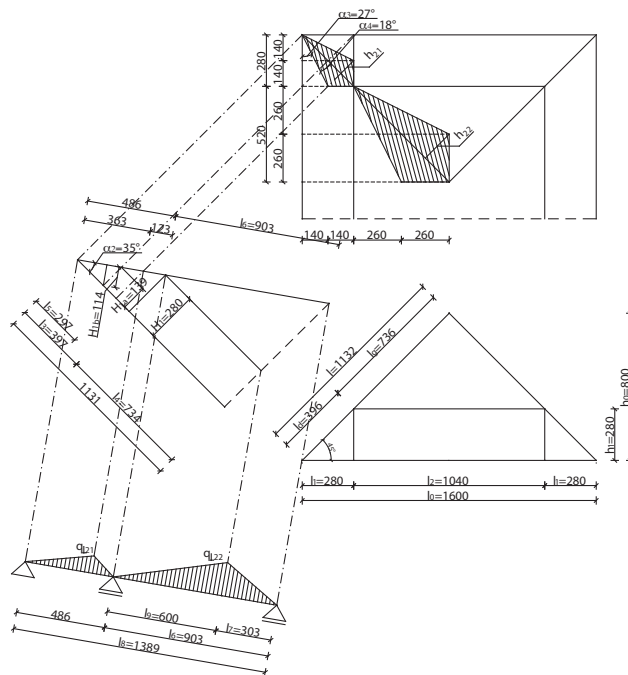
Rys. 21. Obciążenie wiatrem poszczególnych połaci dachowych (wartości obciążenia w kN/m²)



Rys. 22. Schemat rozmieszczenia krokwi z zaznaczeniem elementów wymiarowanych

z zaleceniami literatury [5]. Schemat obciążenia przedstawiono na rysunku 23.

Sprawdzone zostały warunki nośności elementu z uwzględnieniem zjawisk wyboczenia oraz zwichrzenia w możliwych płaszczyznach. Ugięcie wyznaczone z warunków



Rys. 23. Schemat obciążenia krokwi narożnej

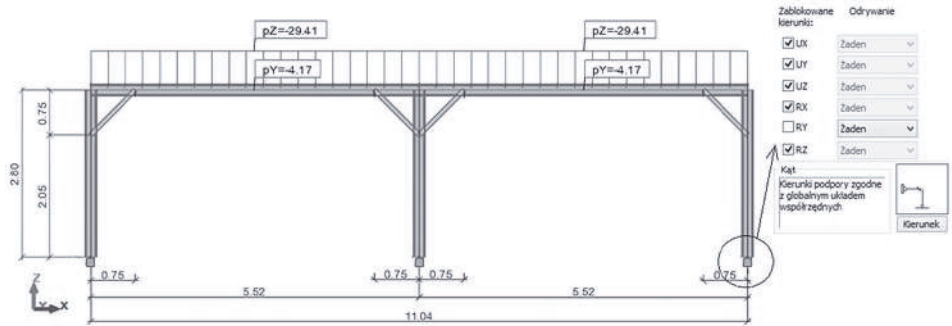
wytrzymałościowych porównano z ugięciem uzyskanym w programie komputerowym, uzyskując zbliżone wyniki. Ostatecznie przyjęto przekrój krokwi narożnej jako HEB 200.

Również krokiew koszowa została zwymiarowana zgodnie z zaleceniami zawartymi w literaturze [5]. Ze względu na to, że jest to miejsce, w którym może dochodzić do gromadzenia nadmiaru śniegu, przyjmuje się do obliczeń obciążenie śniegiem pomnożone przez współczynnik zwiększający równy 6 (założenie zgodne z punktem 5.3.6. normy [N4]), zaś nie uwzględniono dla tych krokwi obciążenia wiatrem. Ze względu na to, że dla krokwi koszowej wszystkie siły

Tabela 2. Zestawienie obciążeń działających na więźbę dachową

Rodzaj obciążenia	Wartość charakterystyczna [kN/m ²]	Współczynnik bezpieczeństwa γ_f	Wartość obliczeniowa [kN/m ²]
Obciążenie stałe			
- dachówka karpiówka	0,750	1,35	1,013
- łąty i kontrłąty drewniane	0,044		0,059
- membrana dachowa	0,002		0,003
- folia niskoparoprzepuszczalna	0,001		0,001
- wełna mineralna	0,070		0,095
- folia paroizolacyjna	0,001		0,001
- płyta g-k	0,700		0,945
- wieża	0,100		0,135
- ciężar własny krokwi (przyjęto dwuteownik IPE 200)	0,112		0,151
Obciążenia stałe razem	$g_k=1,780$		$g_d=2,403$
Obciążenie zmienne			
- obciążenie śniegiem	0,200	1,50	0,300
- obciążenie wiatrem (parcie)	0,467		0,701
- obciążenie użytkowe	0,400		0,600
Obciążenia zmienne razem	$q_k=1,067$		$q_d=1,601$
Obciążenia razem	2,847	-	4,004

Rys. 24. Schemat statyczny płatwi pośredniej wprowadzony do programu Autodesk Robot Structural Analysis



wewnętrzne i reakcje podporowe miały wartości mniejsze niż dla krokwi pośredniej, przyjęto dla krokwi koszowej przekrój taki sam jak przyjęty dla krokwi pośredniej, czyli dwuteownik IPE200. Wiąże się to z zapewnieniem dostatecznej nośności przez ten przekrój, a jednocześnie ułatwieniem montażu poszczególnych elementów więzby dachowej. Kolejnym projektowanym elementem była płatew pośrednia – element belkowy, przenoszący obciążenia z krokwi na słupy. Przy jej wymiarowaniu uwzględniono zarówno składowe pionowe, jak i składowe poziome obciążenia. Schemat statyczny płatwi jako elementu ramy płaskiej zaprezentowano na rysunku 24.

Sprawdzono warunki nośności i użyteczności płatwi w płaszczyznach XZ oraz YZ od pojedynczych oddziaływań, a także normowe warunki interakcyjne. Dzięki przyjęciu zastrzałów, które wpłynęły na skrócenie długości wybocheniowej i zwichrzeniowej, wszystkie warunki zostały spełnione dla dwuteownika HEB200.

Schemat statyczny z rysunku 24 został wykorzystany również do zwymiarowania słupa. Największe siły wewnętrzne występują w słupie środkowym. Ustalono długość wybocheniową słupa w dwóch płaszczyznach zgodnie z normą [N11]. W tym celu ustalono sztywność węzłów dla układu o węzłach nieprzesuwnych w płaszczyźnie XZ oraz dla układu o węzłach przesuwnych w płaszczyźnie YZ. Wyznaczono

współczynnik długości wybocheniowej wynoszący 0,77 dla płaszczyzny XY oraz 2,10 dla płaszczyzny YZ. Ostatecznie przyjęto przekrój słupa z dwuteownika HEB 200.

Przyjęto zastrzały wykonane z przekroju rurowego kwadratowego RK 50x50x5. Ich zadaniem jest usztywnienie elementów pionowych w płaszczyźnie XZ oraz zmniejszenie długości wybocheniowej słupa oraz płatwi pośredniej. Założono, że zastrzały są połączone ze słupami i płatwią w sposób przegubowy.

Ponadto zaprojektowano belkę dolną wiązara, przenoszącą obciążenie z konstrukcji więzby dachowej na ściany nośne. Warunki SGU i SGN spełnił przekrój HEB 300.

Rzut oraz przekrój zaprojektowanej więzby dachowej przedstawiają rysunki 25 i 26.

4.9. Projektowanie wybranych połączeń

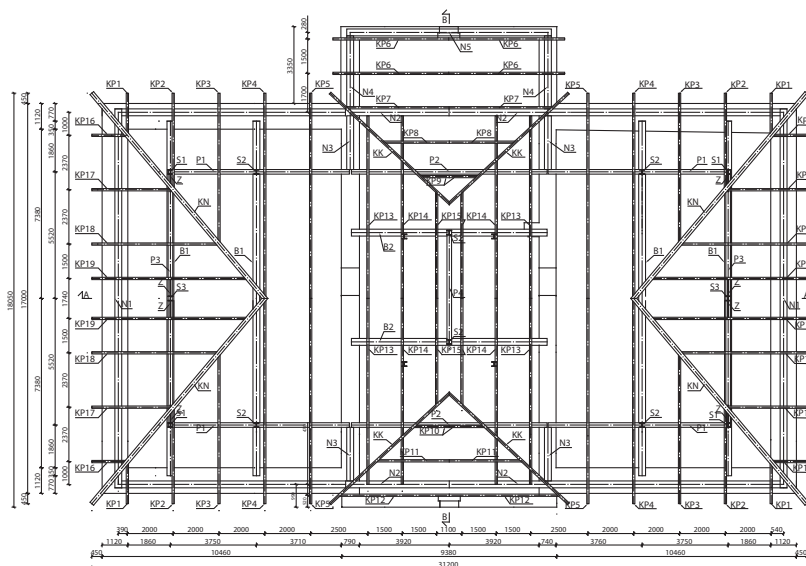
Połączenie krokwi pośrednich w kalenicy zaprojektowano jako spawane. Założono, że krokwie zostaną zespawane jeszcze przed montażem, zaś już jako układy składające się z dwóch połączonych w kalenicy krokwi zostaną za pomocą odpowiedniego sprzętu zamontowane w docelowym położeniu. Nośność obliczeniową zastosowanych pełnych spoin czołowych została przyjęta jako nośność obliczeniowa słabszej z łączonych części przy założeniu, że spoina będzie wykonana z materiału o granicy plastyczności

i wytrzymałości na rozciąganie nie mniejszych od tych parametrów dla materiału rodzimego.

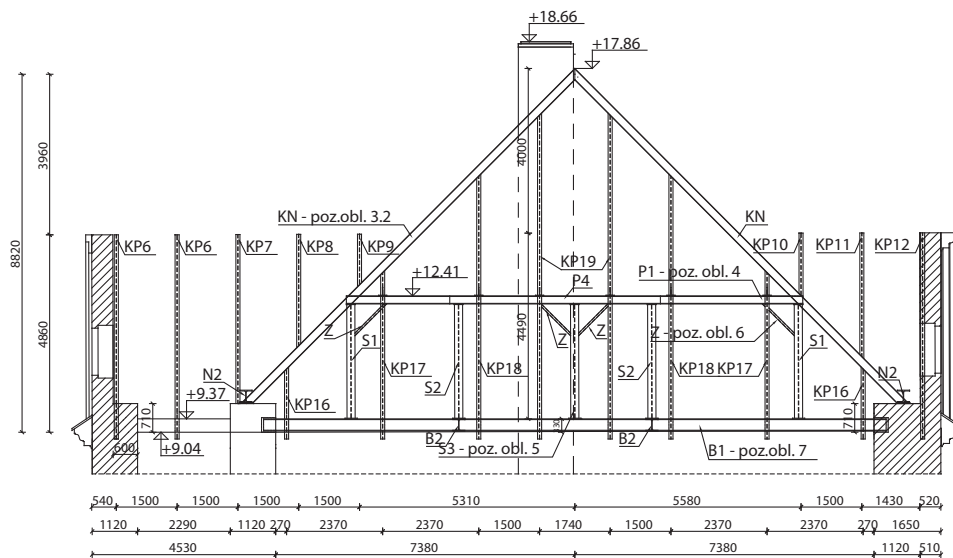
Połączenie krokwi pośredniej z płatwią pośrednią zaprojektowano przy zastosowaniu blachy podpierającej zgodnie ze schematem z rysunku 27. Blachę podpierającą potraktowano jako rodzaj blachownicy niepryzmatycznej. Nośność dla jej przekroju reprezentatywnego sprawdzono w 2/3 jej wysokości maksymalnej.

Oparcie płatwi pośredniej na słupie środkowym zaprojektowano jako śrubowe z zastosowaniem 4 śrub M16 klasy 8.8. Rozwiązanie oparcia i obciążenie tego węzła przedstawia rysunek 28.

Oparcie słupa środkowego na belce dolnej wiązara również zaprojektowano jako śrubowe, wykorzystując 4 śruby M20



Rys. 25. Rzut projektowanej więzby dachowej



Rys. 26. Przekrój projektowanej więźby dachowej

klasy 8.8, co pokazano na rysunku 29. Zastosowano blachę podstawy słupa oraz dodatkowe żebra usztywniające belkę przed zniszczeniem w miejscu oparcia słupa. Sprawdzone warunki normowe dotyczące nośności śrub oraz spoin łączących słup z blachą podstawy. Projektowane żebra spełniły normowe warunki żeber sztywnych. Sprawdzone również stateczność środnika pod obciążeniem skupionym. Środnik okazał się być niewrażliwy na utratę stateczności przy ścinaniu.

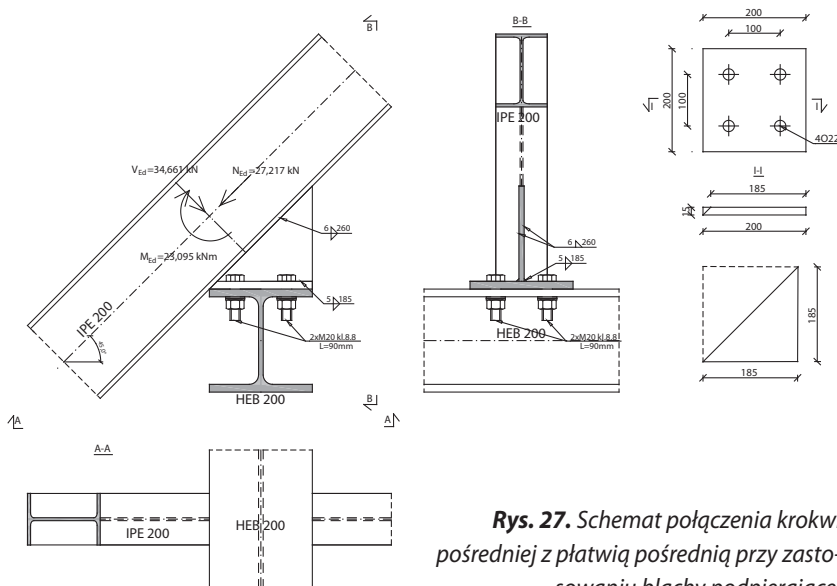
5. Podsumowanie

Przedmiotem opracowania był projekt naprawy konstrukcji dachu w budynku zabytkowym, w pałacu w Nowym Kisielinie. Wykonano projekt konstrukcyjny stalowej więźby z połączeniami. W części opisowej dokonano charakterystyki obiektu oraz przedstawiono rozwiązania konstrukcyjne w oparciu o elementy stalowe zrealizowane w obiektach w Polsce i Europie. Wskazano na rosnące zainteresowanie takimi metodami renowacji i wznoszenia budowli oraz zwrócono uwagę na zalety konstrukcji stalowych. Dokonany przegląd obiektów pozwolił na uzasadnienie przyjętych rozwiązań oraz wykazał, że są one możliwe do realizacji i stają się coraz powszechniejsze. Zaprojektowano stalową konstrukcję dachową o łącznej masie elementów wynoszącej około 45 ton. Masa ta jest porównywalna do masy analizowanych w części opisowej konstrukcji stalowych więźb. Należy przyjąć, że ze względu na technologię wykonania i użyte podczas wznoszenia pałacu w Nowym Kisielinie materiały,

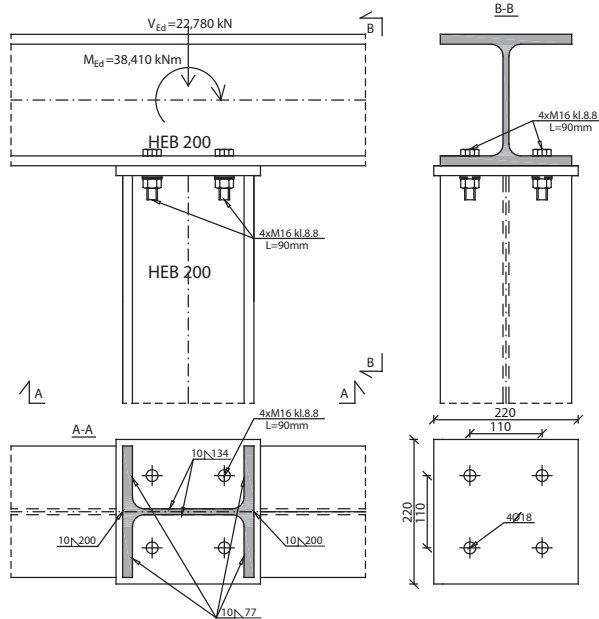
obciążenie generowane przez projektowaną więźbę zostanie przeniesione za pośrednictwem ścian nośnych i fundamentów na grunt bez uszczerbku dla materii istniejącej. Zaprojektowana konstrukcja spełnia również wymogi funkcjonalno-użytkowe, to znaczy dzięki zastosowaniu maksymalnego możliwego rozstawu słupów zwiększone zostały przestrzenie użytkowe na poddaszu, co pozwoli na jego ciekawe zagospodarowanie.

Wymiana więźby dachowej w pałacu powinna stanowić pierwszy etap jego modernizacji. Jest to niezwykle piękny i okazały obiekt o dużych wartościach historycznych, o który należałoby zadbać. Jego lokalizacja, kubatura, forma architektoniczna oraz wielkość przyległych terenów zielonych powinny zostać wykorzystane, a sam obiekt, będący własnością Uniwersytetu Zielonogórskiego, powinien służyć całej społeczności akademickiej jako centrum konferencyjne. Aby ten postulat zrealizować, niezbędne byłoby przygotowanie również pełnego projektu modernizacji i adaptacji pałacu do nowej funkcji. Do późniejszego przeprowadzenia takich prac niezbędne byłyby również odpowiednie środki finansowe, które jednak z pewnością po pewnym czasie użytkowania mogłyby się zwrócić, gdyż w nowej formule obiekt mógłby również być wynajmowany firmom i podmiotom prywatnym, można byłoby tam organizować różnorodne konferencje czy uroczystości.

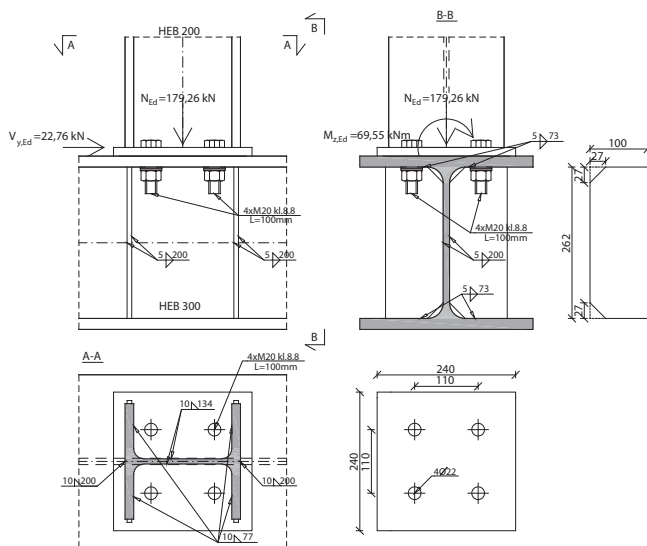
Odpowiednie inwestycje i pieczołowicie przeprowadzona konserwacja oraz zmiana funkcjonalności budynku i jego



Rys. 27. Schemat połączenia krokwi pośredniej z płatwią pośrednią przy zastosowaniu blachy podpierającej



Rys. 28. Schemat oparcia płatwi pośredniej na słupie środkowym



Rys. 29. Połączenie słupa środkowego z belką dolną więzara

otoczenia mogłyby przywrócić mu pierwotny blask. Jednym z elementów łączących historię i architekturę obiektu z jego współczesnymi losami i zmianą funkcji byłaby stalowa więźba dachowa, która jako konstrukcja trwała będzie służyć użytkownikom pałacu przez wiele lat.

Praca dyplomowa wyróżniona w Konkursie na najlepszą pracę dyplomową absolwentów Wydziału Budownictwa, Architektury i Inżynierii Środowiska Uniwersytetu Zielonogórskiego pod patronatem marszałka województwa lubuskiego oraz J.M. rektora Uniwersytetu Zielonogórskiego (2018 rok).

BIBLIOGRAFIA

[1] Goczek J., Supel Ł., Gajdzicki M., Przykłady obliczeń konstrukcji stalowych, Wydawnictwo Politechniki Łódzkiej, 2013

- [2] Kozłowski A. (red.), Konstrukcje stalowe. Przykłady obliczeń według PN-EN 1993-1. Część pierwsza. Wybrane elementy i połączenia, Oficyna Wydawnicza Politechniki Rzeszowskiej, 2016
- [3] Kozłowski A. (red.), Konstrukcje stalowe. Przykłady obliczeń według PN-EN 1993-1. Część druga. Stropy i pomosty, Oficyna Wydawnicza Politechniki Rzeszowskiej, 2015
- [4] Kozłowski A. (red.), Konstrukcje stalowe. Przykłady obliczeń według PN-EN 1993-1. Część trzecia. Hale i wiaty, Oficyna Wydawnicza Politechniki Rzeszowskiej, 2015
- [5] Nożyński W., Przykłady obliczeń konstrukcji budowlanych z drewna, WSiP, 2007
- [6] Dokumentacja techniczna Pałac w Nowym Kisielinie, Pracowni konserwacji zabytków oddział w Poznaniu. Pracownia projektowa w Zielonej Górze, 1980
- [7] Ekspertyza techniczna pałacu wraz z inwentaryzacją budowlaną, Pracownia projektowo-konstrukcyjna mgr inż. Hieronim Pawłowski Rzeczoznawca budowlany, 2004
- [8] Ekspertyza stanu technicznego zabytkowego pałacu znajdującego się w Nowym Kisielinie przy ulicy Odrzańskiej 57, działka 15/65, obręb Nowy Kisielin, Pracownia badawczo-projektowa CEWAP, 2013

NORMY

- [N1] PN-EN 1990:2004 Eurokod. Podstawy projektowania konstrukcji
- [N2] PN-EN 1991-1-1:2004 Eurokod 1: Oddziaływania na konstrukcje. Część 1-1. Oddziaływania ogólne. Ciężar objętościowy, ciężar własny, obciążenia użytkowe w budynkach
- [N3] PN-EN 1991-1-3:2005 Eurokod 1: Oddziaływania na konstrukcje. Część 1-3. Oddziaływania ogólne – Obciążenia śniegiem
- [N4] PN-EN 1991-1-4:2008 Eurokod 1: Oddziaływania na konstrukcje. Część 1-4. Oddziaływania ogólne – Oddziaływanie wiatru
- [N5] PN-EN 1992-1-1:2008 Eurokod 2: Projektowanie konstrukcji z betonu. Część 1-1. Reguły ogólne i reguły dla budynków
- [N6] PN-EN 1993-1-1:2006 Eurokod 3: Projektowanie konstrukcji stalowych. Część 1-1. Reguły ogólne i reguły dla budynków
- [N7] PN-EN 1993-1-5:2008 Eurokod 3: Projektowanie konstrukcji stalowych – Część 1-5: Blachownice
- [N8] PN-EN 1993-1-8:2006 Eurokod 3: Projektowanie konstrukcji stalowych – Część 1-8: Projektowanie węzłów
- [N9] PN-EN 1995-1-1:2010 Eurokod 5: Projektowanie konstrukcji drewnianych – Część 1-1: Postanowienia ogólne – Reguły ogólne i reguły dotyczące budynków
- [N10] PN-82/B-02001 Obciążenia budowli. Obciążenia stałe
- [N11] PN-90/B-03200 Konstrukcje stalowe. Obliczenia statyczne i projektowanie

STRONY INTERNETOWE

- [W1] <http://www.constructalia.com/repository/transfer/pl/04755088enlace.pdf> [data dostępu 4.01.2018]
- [W2] <http://commerces-immarcescibles.blogspot.com/2011/08/aux-dames-de-france-perpignan-suite.html> [data dostępu 4.01.2018]
- [W3] https://www.archicontemporaine.org/RMA/p-8-Ig0-Rehabilitation-du-batiment-8220-Aux-Dames-de-France-8220-htm?fiche_id=831 [data dostępu 28.12.2017]
- [W4] https://www.google.pl/url?sa=t&rct=j&q=&esrc=s&source=web&cd=1&cad=rja&uact=8&ved=0ahUKewiq26yqdyHYAhULQBQKHZ_FCSEQFggoMAA&url=http%3A%2F%2Fsections.arcelormittal.com%2Ffileadmin%2Fredaction%2F4-Library%2F1_Sales_programme_Brochures%2Frefurbishment%2Frefurbishment_PL.pdf&usq=AOvVaw2g4YXYzli3pmnAfCLbnud [data dostępu 4.01.2018]
- [W5] <http://www.zoover.pl/wochy/liguria/genua/palazzo-ducale/fotografie> [data dostępu 20.11.2017]
- [W6] <http://tomas-tickets.blogspot.com/2016/03/turyn-katedra-sw-jana-chrzyciela.html> [data dostępu 5.01.2018]
- [W7] <https://kaiserkonstrukcje.pl/t/Bolechowo%2C-konstrukcje-dachu-ko%26%23347%3Bcio%26%23322%3Ba.htm> [data dostępu 4.01.2018]
- [W8] <http://www.kolbe.diecezja.gda.pl/galerie> [data dostępu 5.01.2018]
- [W9] <http://deltapw.com.pl/prealizacje/kosciol-sw-franciszka/> [data dostępu 4.11.2017]
- [W10] http://www.diecezja.zgora.pl/parafia,839,zielona_gora,sw_franciszka_z_asyzu.html [data dostępu 16.12.2017]