

Bronisław Gosowski*, Maciej Gosowski**, Tomasz Kasprzak*

Odbudowa po katastrofie sufitu sali gimnastycznej zabytkowej szkoły poddanej termomodernizacji

Reconstruction of the ceiling of a gymnasium at the historic school after the catastrophic failure during thermal efficiency improvement

1. Wprowadzenie

Ochrona środowiska, a przede wszystkim rosnące koszty energii, wymuszają konieczność termomodernizacji wielu obiektów zabytkowych. Przygotowując dokumentację związaną z termomodernizacją zapomina się często o istotnych z punktu widzenia bezpieczeństwo użytkowników problemach statyczno-wytrzymałościowych modernizowanych obiektów, wychodząc z założenia, że poprawa izolacyjności termicznej ścian i dachów za pomocą styropianu lub wełny mineralnej nie wpłynie znacząco na zwiększenie obciążenia elementów konstrukcyjnych. Zapomina się niestety przy tym, że w przypadku obiektów zabytkowych nie można pominąć znacznego zazwyczaj czasu eksploatacji obiektów, a co za tym idzie, jego wpływu jako czynnika destrukcyjnego dla konstrukcji, a ponadto o dokonanych w międzyczasie zmianach przepisów normowych dotyczących obciążeń i zasad wymiarowania konstrukcji budowlanych. Uwzględnienie tych wszystkich elementów, co podnosi niestety zarówno koszt, jak i czas przygotowania dokumentacji, gwarantuje wykonanie termomodernizacji bez niespodzianek na etapie realizacji.

W pracy przedstawiono przykład zabytkowej szkoły, w której na etapie przygotowania dokumentacji związanej z termomodernizacją, nie przeprowadzono oceny stanu technicznego konstrukcji stalowej przekrycia jednego z jej skrzydeł, w którym na najwyższej kondygnacji zlokalizowana jest

1. Introduction

Protection of the environment, and first of all growing costs of energy, extort the necessity to carry out thermal modernization of many antique objects. When preparing the documentation connected with thermal modernization one may often forget what the users consider as essential, the existence of static – strength problems of modernized objects, starting from an assumption that the improvement of thermal insulation of walls and roofs using styropore or mineral wool will not significantly influence on the increase in the load of constructional elements. One often forgets, unfortunately, that in the case of antique objects what must not be ignored is usually considerable time of exploitation of the object, and what follows, its influence as a destructive factor on the construction, and moreover that meanwhile there had been accomplished changes of normative regulations concerning loads and principles of dimensioning of building constructions. Taking into consideration all these elements guarantees accomplishing the thermal modernization without any surprises at the stage of realization, but unfortunately increases both the cost and the time of preparation of documentation.

The example presented in the study was an antique school building, wherein at the stage of preparation of documentation connected with thermal modernization it was neglected to carry out the assessment of technical condition of the steel construction of roofing at one of the wings of the building,

sala gimnastyczna. Uznano bowiem, bez szczegółowego analizowania konstrukcji sufitu sali, że będzie on w stanie bezpiecznie przenieść obciążenie od ocieplenia w postaci kilkunastocentymetrowej warstwy miękkiej wełny mineralnej. W trakcie prowadzenia robót związanych z termomodernizacją skrzydła nastąpiła katastrofa sufitu, polegająca na jego całkowitym zawaleniu. Konsekwencją było m.in. kilkunastomiesięczne opóźnienie w zakończeniu prac termomodernizacyjnych. Niezbędne bowiem było: wyjaśnienie przyczyn zaistniałej katastrofy, przeprowadzenie oceny możliwości wykonania nowego sufitu z wykorzystaniem istniejącej konstrukcji stalowej przekrycia, opracowanie projektu sufitu, uzyskanie stosownych zezwoleń i jego wykonanie.

2. Dotychczasowy sufit, katastrofa i jej przyczyny

Przedmiotowa sala gimnastyczna, której wymiary w świetle ścian wewnętrznych wynoszą ok. 12,4×23,8 m, znajduje się na trzeciej kondygnacji prawego skrzydła budynku szkoły (rys. 1). Dach nad salą gimnastyczną jest w zasadzie czterospadowy, o spadkach połaci wynoszących 45°. Konstrukcję nośną dachu nad salą gimnastyczną wykonano z płaskich wiązarów stalowych, o pasach dolnych w kształcie linii wznoszącej, załamanej w węzłach, opartych na ścianach podłużnych budynku. Rozpiętość wiązarów w osiach podpór wynosi ok. 13,1 m. Przekrycie zrealizowano przy tym w części środkowej z czterech wiązarów trójkątnych (typu Polanceau), w rozstawie co 4,7 m (rys. 2a), oraz skrajnych wiązarów trapezowych, umieszczonych w odległości ok. 2,60 m od trójkątnych (por. rys. 2b, c). Wiązary trójkątne są połączone stężeniami połaciowymi poprzecznymi, wykonanymi z kątowników i płaskowników, na przemian w pasach górnych i dolnych. W węzłach pasów górnych wiązarów oparto płatwie z dwuteowników 200 o półkach górnych wzmocnionych ceownikami 120. Płatwie kalenicowe w polach między wiązarami trójkątnymi i trapezowymi wykonano natomiast z dwuteowników 180. Wiązary trójkątne poniżej pasów dolnych (por. rys. 2a), zostały połączone pojedynczymi ceownikami 100.

Na omówionej konstrukcji stalowej przekrycia wspiera się drewniana więźba dachowa w postaci krokwi o wymiarach 12×14 cm w rozstawie co ok. 93-95 cm. Nad ryzalitami i przybudówką (por. rys. 1), dokąd nie sięga konstrukcja stalowa prze-

in which on the highest storey there was situated a gymnastic hall. It was assumed, without any detailed analyzing the construction of the hall ceiling, that it will be able to transfer safely the load coming from thermal insulation in the form of a dozen or so centimeters thick layer of soft mineral wool. The catastrophe which consisted in total collapsing of the ceiling happened when the works connected with the thermal modernization of the wing were being carried out. As the result, amongst other, the works got slowed down, up to over a year-long delay in completion of the thermal modernization works. In such a predicament it was indispensable to carry out the following activities: explanation of the causes of the catastrophe, making assessment of the possibility of realization of a new ceiling with utilization of the existing steel construction of roofing, working out the design for a new ceiling, acquiring the necessary permissions and the realization itself.

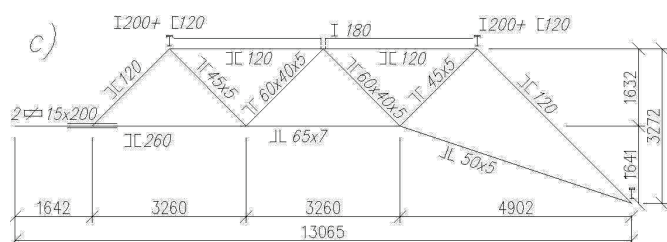
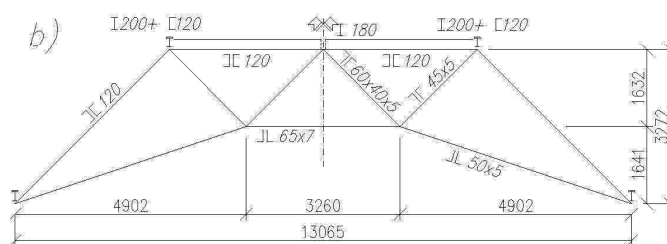
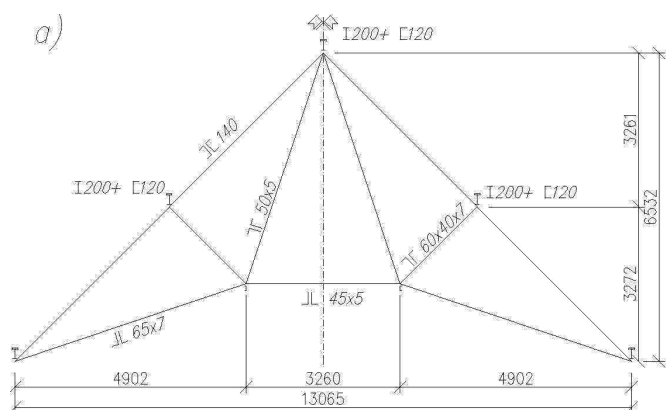
2. Hitherto existing ceiling, the catastrophe and causes thereof

The gymnastic hall, being the object of the study, is situated on the third storey of the right wing of the school building (fig. 1); the inner dimensions of the hall are: approx. 12.4×23.8 m. The roof over the gym is basically with four-slopes, with inclination of its surfaces equal 45°. The bearing construction of the roof over the gym was made from flat steel roof trusses, whose bottom chords were in the shape of a rising up line, cornered in the nodes, resting on the longitudinal walls of the building. The span of the roof trusses in the axes of supporting was approximately 13.1 m. The roofing was realized in its central part from four triangular roof trusses (of Polanceau type), with the spacing at each 4.7 m (fig. 2a), and from external trapezoid roof trusses, set at the distance approx. 2.60 m from the triangular ones (cf. fig. 2b, c). The triangular roof trusses are linked with roof slope sway braces, made from angle sections and flat bars, alternately in the upper and the bottom chords. The purlins made from I-sections 200 with upper flange strengthened with U-sections 120 were supported in the nodes of the upper chords of the roof trusses. The roof ridge purlins in the fields between the triangular and the trapezoidal roof trusses were made from I-sections 180. The triangular roof trusses below the bottom chords (cf. fig. 2a), were linked with single U-sections 100.

The described above steel construction of the roofing makes the base for wooden roof rafter framing in the form of rafters of dimensions 12×14 cm in cross section set at every approx. 93-95 cm. Over the risalits and the annex (cf. fig. 1), where the steel



Rys. 1. Widok prawego skrzydła budynku szkoły
Fig. 1. View of the right wing of the school building



Rys. 2. Stalowe więzary przekrycia sali gimnastycznej:
a) trójkątny, b) trapezowy, c) trapezowy z wymianem [mm]

Fig. 2. Steel trusses of the gymnasium's roofing:
a) triangular, b) trapezoidal, c) trapezoidal with a trimmer beam [mm]

krycia, drewniana więźba dachowa wykonana jest jako samonośna. Do krokwi przybite są co ok. 26 cm drewnianełaty o wymiarach 3,5×5,0 cm, na których ułożona jest podwójnie ceramiczna dachówka karpiówka, stanowiąca pokrycie dachu.

Dotychczasowy sufit, w odróżnieniu od konstrukcji stalowej przekrycia pochodzącej z lat dwudziestych ubiegłego wieku, został wykonany przypuszczalnie po II wojnie światowej. Wykonano go z zaprawy cementowo-wapiennej o grubości 3,5-4,5 cm na siatce metalowej połączonej z krzyżującymi się stalowymi prętami: podłużnymi $\phi 8-10$ mm w rozstawie 20-30 cm i poprzecznymi $\phi 6$ mm co 18-35 cm. Siatka prętów stalowych została podwieszona do konstrukcji stalowej przekrycia sali gimnastycznej na wieszakach ze stalowego drutu $\phi 3,5-6$ mm. Sufit o omówionej konstrukcji, wymagał na etapie wykonywania dodatkowej konstrukcji wsporczej, umożliwiającej zrealizowanie dość gęstego podwieszenia. Konstrukcję tę stanowiły rozmieszczone na obwodzie pochyłe belki stalowe wykonane z szyn kolejki wąskotorowej. Inaczej było to rozwiązane w środkowej, poziomej części sufitu, gdzie dodatkową konstrukcję stanowiły drewniane belki ułożone na ceownikach 100.

construction of the roofing does not reach, the wooden roof rafter framing is made as self-supporting. At the spacing of 26 cm wooden roof battens of dimensions 3.5 × 5.0 cm are nailed to the rafters, and thereon a double layer ceramic plain tile is laid, to make up the covering of the roof.

The hitherto existing ceiling, in distinction from the steel construction of roofing originated from the twentieth of the XX century, was presumably made after WWII. It was made from cement-lime mortar of about 3.5-4.5 cm in thickness put on metal mesh joined to intersecting steel rods: longitudinal $\phi 8-10$ mm at the spacing of 20-30 cm and transverse $\phi 6$ mm at every 18-35 cm. The mesh of steel rods was hung under to the construction of steel roofing of the gymnastic hall with suspension members made from steel wire $\phi 3.5-6$ mm. The ceiling of the described above construction required at the stage of making thereof some additional supporting structure, to enable realizing of such a quite thick suspended element. That structure consisted of peripheral sloping steel beams made from the rails for a narrow-gauged railway. In the central, horizontal part of the ceiling it was realized otherwise; there the additional construction was made from wooden beams laid on U-sections 100.

Belki pochyłe (szyny) zostały oparte od strony zewnętrznej na ścianach sali, a od środka na ruszcie z ceowników 100, łączących węzły w pasach dolnych wiązarów trójkątnych. Jeżeli sposób oparcia szyn na ścianach nie budził większych zastrzeżeń, ze względu na omurowanie, to oparcie szyn stopkami na ceownikach wykonano prowizorycznie, z zastosowaniem w najlepszym przypadku drutu łączącego, mogło budzić uzasadnione wątpliwości, co do skuteczności podparcia ze względu na zwichrzenie. Należy zaznaczyć, że szyny w kilku miejscach były ustawione na ceownikach bez jakiegokolwiek połączenia. Zastrzeżenia wzbudza ponadto bezpośrednie oparcie szyn na pasach dolnych wiązarów trójkątnych, od strony wejścia do sali, oraz na pasach dolnych wiązarów trapezowych, na drugim końcu sali. W efekcie pręty wiązarów przystosowane do przenoszenia sił podłużnych były poddane dodatkowemu zginaniu. Podobne zastrzeżenia dotyczą również wyboru miejsca podwieszenia sufitu. Obok poprawnych podwieszeń do szyn i drewnianych belek, zrealizowano je także, co nie powinno mieć miejsca, do niektórych dolnych pasów wiązarów.

Sufit po wykonaniu (na deskowaniu) i związaniu zaprawy cementowo-wapiennej, ze względu na swój kształt stanowił układ tarczownicowy, w którym obciążenie od ciężaru własnego mogło być nawet w całości przekazywane bezpośrednio na ściany sali gimnastycznej. Warunkiem tego był nienaruszony stan układu tarczownicowego. Od dołu sufit pokryty był wyprawą z gipsu, który w miejscach załamania płaszczyzn i przy ścianach przechodził w sztukaterie, o grubości nawet do 8 cm. Widok omawianego sufitu od strony wejścia do sali, w stanie przed awarią budowlaną, pokazano na rys. 3.

Awaria (katastrofa) sufitu nastąpiła we wrześniu ubiegłego roku podczas prac remontowych na dachu, prowadzonych w ramach szerszego zadania związanego z termomodernizacją budynku szkoły. W chwili awarii na około połowie dachu nie było pokrycia dachowego (dachówek) i drewnianych łat (por. rys. 1), które miały być wymienione na nowe.

Katastrofa omówionego sufitu polegała na ścięciu jego połączenia ze ścianami sali gimnastycznej na całym obwodzie, zerwaniu połączeń ze stalową konstrukcją nośną na prawie całej powierzchni, w konsekwencji czego fragmenty sufitu spadły na podłogę sali gimnastycznej. Jedyne w części środkowej sali sufit, na niedużej powierzchni, pozostał na swoim miejscu, utrzymując

Sloping beams (rails) were supported from the external side on the walls of the hall, and from the centre on the grillage of U-sections 100, joining the nodes in the bottom chords of the triangular roof trusses. Although the way of supporting the rails on the walls was not to be objected to, due to brick wall construction, the supporting of the rails by seating the rail flanges on the U-sections was a make-do construction, with the use, in the best case, linking with a length of wire, which could raise well-founded objections, as to the effectiveness of the supporting, because of skewing. It should be noticed that the rails were in several points put on the U-sections without any connection. Direct supporting of the rails on the bottom chords of triangular roof trusses, from the side of the entrance to the hall, and on the bottom chords of trapezoidal roof trusses, from the other end of the hall, makes another point of objection. As the result the rods of roof trusses which were adapted to carry over the longitudinal forces underwent additional bending. Similar objections relate also to the choice of the place of suspending the ceiling. Although there were some pieces of correct suspending to the rails and the timber beams, some were, however, also fixed to some bottom chords of roof trusses, which should not have taken place at all.

The ceiling after being made (on the planking) and after setting the cement-lime mortar, due to its shape formed a folded plate structure, in which the load by its own weight could even be entirely passed on directly on the walls of the gym. The condition for that was to keep intact state of the folded plate arrangement. From the bottom side the ceiling was covered with plaster, which in the points of corners between planes and at the walls was adorned with stuccowork, of the thickness up to 8 cm. The view of the described ceiling from the side of the entrance to the hall, in the state before the building catastrophe has been shown in fig. 3.

The collapse (catastrophe) of the ceiling happened in last year's September, during repair works on the roof, carried out within a broader task connected with thermal modernization of the school building. At the moment of collapse there was no roof covering (tiles) and wooden roof battens on about a half of the roof surface (cf. fig. 1), which were to be replaced with new ones.

The catastrophe of the above mentioned ceiling consisted in shearing off the connection of the ceiling with the walls of the gym around the whole perimeter, breaking the connections with the bearing steel construction on almost the whole surface, in the consequence of which fragments of the ceiling fell on the floor of the gym. The ceiling remained in its place only on a small surface in the central part of the hall,



Rys. 3. Widok sufitu sali gimnastycznej przed katastrofą
 Fig. 3. View of the gymnasium's ceiling before the catastrophe



Rys. 4. Widok sufitu sali gimnastycznej po katastrofie
 Fig. 4. View of the gymnasium's ceiling after the catastrophe

dzięki siatce z prętów jego spore płyty. Stan ten zilustrowano na rys. 4.

Awaria (katastrofa) sufitu została zapoczątkowana przypuszczalnie zwichrzeniem jednej z szyn w efekcie czego złamała się deska, po której przechodzili robotnicy zdejmujący dachówki, które trzeba było przenosić do rynny zsypowej. Spadająca z ceownika szyna musiała znacznie uszkodzić sufit, w tym jego połączenie ze ścianą. W ten sposób naruszony został stan równowagi układu tarczownicowego sufitu. Nie można wykluczyć, że sufit był już wcześniej nadwyrężony przez spadające dachówki, w trakcie ich nieostrożnego zdejmowania. W ten sposób rozpoczęła się destrukcja sufitu, której dalszy przebieg miał charakter lawinowy. Sytuacja, w której szyny uległy zwichrzeniu nie była jednostkowa. Stwierdzono ponadto, że na suficie znajdowały się dachówki różnego pochodzenia (z wcześniejszych remontów, aktualnie demontowane, nowe). Dzięki szczęśliwemu zbiegowi okoliczności katastrofa sufitu nie pociągnęła za sobą ofiar w ludziach, ani nie spowodowała większych uszkodzeń konstrukcji stalowej przekrycia sali.

Wyniki szczegółowych analiz mających na celu m.in.: identyfikację materiałową i konstrukcyjną przekrycia, ustalenie przyczyny katastrofy sufitu, a także możliwości jego odbudowania z wykorzystaniem istniejącej konstrukcji stalowej przekrycia, zostały przedstawione w raporcie [1].

keeping large pieces thereof supported on the mesh of rods. This state has been illustrated in fig. 4.

The collapse (catastrophe) of the ceiling was presumably begun by one of rails going askew, which resulted in breaking a board used for walking by the workers who had been taking off the roof tiles, which were to be carried to the chute. The rail falling down from the U-section must have considerably damaged the ceiling, in this its connection with the wall. This is why the condition of the equilibrium of the folded plate arrangement of the ceiling got thrown out of balance. One can not exclude that the ceiling had already earlier been strained by falling down tiles, in the course of their careless removal. This is how destruction of the ceiling began, which further on had the avalanche character. The situation in which the rails went askew was not isolated one. Moreover, it was found out that there were tiles of various origin on the ceiling (coming from earlier repairs, disassembled at present, new ones). Luckily, the catastrophe of the ceiling did not involved any victims in people, neither did it cause any larger damages of the steel construction of roofing of the hall.

The results of detailed analyses have been presented in the report [1]. They were carried out in order to, amongst other: make material and constructional identification of the roofing, find out the cause of the catastrophe of the ceiling, and also assess the possibilities of reconstruction thereof with utilization of the existing steel construction of the roofing.

3. Nowy sufit o lekkiej konstrukcji stalowej

Analizy statyczno-wytrzymałościowe konstrukcji stalowej przekrycia sali gimnastycznej wykazały, że istnieje możliwość odbudowania sufitu sali gimnastycznej. W rachubę wchodziło indywidualne rozwiązanie sufitu o niedużym ciężarze, który można podwiesić do istniejącej konstrukcji stalowej przekrycia, po jej remoncie, rekonstrukcji i niewielkim wzmocnieniu. To ostatnie wynika głównie ze zmian w normach, a mianowicie: zwiększenia obciążenia śniegiem oraz w wymiarowaniu prętów wielogłęziowych [3].

Kratownicowa konstrukcja przekrycia sali gimnastycznej została wykonana jako nitowana, ze stykami montażowymi na śruby, w latach dwudziestych XX wieku ze stali o nieznanym gatunku. Parametry wytrzymałościowe stali ustalono na podstawie nieniszczących badań twardości, przeprowadzonych na obiekcie [2]. Stosowano przy tym przenośny twardościomierz Brinella typu PZ-3 firmy Zwick. Wyniki tych badań, uzupełnione badaniami chemicznymi na niedużych próbkach pobranych z konstrukcji, pozwoliły na zakwalifikowanie stali do gatunku St0 (S185), dla której wytrzymałość obliczeniowa wynosi $f_d = 175$ MPa [3]. Założono ponadto, że względu na brak możliwości przeprowadzenia badań spawalności (np. twardości i udarności strefy wpływu ciepła), że stal jest niespawalna, mimo iż równowaznik węgla C_e [4] był zdecydowanie mniejszy od wartości granicznej 0,42.

Bazując na wynikach raportu [1], autorzy artykułu opracowali kolejno następujące projekty branży konstrukcyjnej dla dachu sali gimnastycznej: wykonawczy steżenia konstrukcji stalowej i prac remontowych, budowlany i wykonawczy sufitu podwieszonego oraz wzmocnienia konstrukcji stalowej. Należy zaznaczyć, że projekt budowlany sufitu wymagał uzyskania odrębnego pozwolenia na budowę. Niżej omówiono w skrócie zakres dokonanych wzmocnień oraz ideę sufitu podwieszonego, a także problemy z jakimi należało się zmierzyć na etapie jego wykonania.

Wzmocnienia konstrukcji stalowej dachu obejmowały: wybrane wiązary (dwa trójkątne i trapezowy z wymianem), płatwie pośrednie (w polach między wiązarami trójkątnymi) oraz płatwie koszone.

Wzmocnienie prętów wiązarów polegało na wykonaniu dodatkowych przewiązek w pasach górnych z ceowników, poniżej podparcia na nich płatwi pośrednich, w dwóch środkowych wiązarach trójkątnych, a także w wiązarze trapezowym

3. The new ceiling of light steel construction

The static-strength analysis of the steel construction of the roofing of the gym showed that there exists a possibility of reconstruction of the ceiling of the gym. There exists an individual solution of the ceiling in the form of low-weight ceiling which could be suspended under the existing steel construction of the roofing after repair, reconstruction and small strengthening thereof. The latest results mainly from the changes in the standards, namely: enlargement of the snow load and in the dimensioning of multi-branched rods [3].

The truss construction of the roofing of the gym was made as riveted, with assembly points fixed with bolts, in the twentieths of XX century, using steel of unknown grade. The strength parameters of the steel were established on the basis of the non destructive testing of hardness, carried out on the object [2]. The applied tool was mobile Brinell hardness tester of PZ-3 type, made by Zwick. The results of these tests, completed with chemical investigations on small samples taken from the construction, allowed to classify the steel as grade St0 (S185) for whose computational strength is $f_d = 175$ MPa [3]. Moreover, due to lack of possibility of execution of weldability testing (e.g. hardness and impact strength of the zone of heat influence), it was assumed that the steel cannot be welded, although the carbon equivalent C_e [4] was decidedly lower than boundary level 0.42.

Basing on the results of the report [1], the authors of the article worked out in turn the following designs of the constructional branch for the roof of the gym: the executive design for bracing of the steel construction and repair works, the constructional and executive design for the suspended ceiling and the design for strengthening of the steel construction. It should be pointed out that the constructional design of the ceiling required acquiring a separate permission to build. Below the scope of accomplished strengthening and the idea of the suspended ceiling, and also the problems to face at the stage of their realization have been briefly discussed.

Strengthening of the steel construction of the roof included: some chosen roof trusses (two triangular and the trapezoidal one with a trimmer beam), intermediate purlins (in the fields between the triangular roof trusses) and basket purlins.

Strengthening of the rods of roof trusses consisted in making additional batten plates in the upper chords of U-sections, below supporting on them intermediate purlins, in two central triangular roof trusses, and also in the trapezoidal roof truss with

z wymianem. Dodatkowe przewiązki z blach o grubości odpowiednio 40 lub 30 mm, zostały połączone z prętami wiązarów 4. śrubami M12 kl. 5.6. W omawianych wiązarach podobnego wzmocnienia wymagały słupki dochodzące do węzłów pasów górnych, w których oparte są płatwie pośrednie. W tym przypadku dodatkowe przewiązki wykonano z blach o grubości 10 mm i połączono z kątownikami na 2. śruby M10 kl. 5.6.

Płatwie pośrednie o rozpiętości 4,7 m, oparte na wiązarach trójkątnych, musiały być wzmocnione głównie ze względu na większe obciążenie dachu śniegiem. Wzmocnienie to zrealizowano za pomocą płaskowników 120×10 mm, które przymocowano do pasów dolnych za pomocą śrub M10 kl. 5.6, w odpowiednim rozstawie na długości.

Wzmocnienia wymagały również dwie płatwie koszowe, które oparte są w węzłach pasa górnego wiazara trapezowego z wymianem. Wzmocnienie w tym przypadku wykonano za pomocą dwóch płaskowników 120×8 mm, które przymocowano symetrycznie z obu stron do środników dwuteowników 180, odpowiednio rozmieszczonymi na długości śrubami M10 kl. 5.6.

Konstrukcja nośna sufitu została wykonana ze stalowych rur kwadratowych 80×80×4 mm, stanowiących żebra poprzeczne (złożone z trzech elementów wysyłkowych, połączonych na śruby, które rozmieszczono wzdłuż sali co około 1,2 m. Żebra te zostały podwieszono poniżej pasów dolnych wiązarów, przy czym w części środkowej podwieszenie zrealizowano do odpowiednio wzmocnionego ceownikami 120 istniejącego rusztu z ceowników 100. Elementy boczne żebier poprzecznych zostały dodatkowo, między rusztem z ceowników 100 i ścianami podłużnymi sali, połączone z biegnącymi wzdłuż sali podłużnymi podciągami z rur kwadratowych 120×120×5 mm, podwieszonymi na płaskownikach 120×8 mm do węzłów pasów górnych wiązarów, w których podparte są płatwie pośrednie. Podparcie żebier poprzecznych na ścianach podłużnych sali gimnastycznej wykonano jako przegubowo przesuwne, na kątownikach 150×100×10 mm przymocowanych do ścian wklejanymi kotwami z prętów M12×260 mm, kl. 5.6, wklejanymi na głębokość 210 mm w rozstawie co ok. 60 cm. Na rys. 5 pokazano przekrój poprzeczny omawianego sufitu podwieszono.

Sufit od strony ścian poprzecznych sali gimnastycznej zamykają cztery żebra koszowe (ukośne) z rur 80×80×4 mm, podparte podobnie jak żebra poprzeczne. Konstrukcję nośną sufitu od strony ścian poprzecznych sali stanowią jednoprzęsłowe żebra: poprzeczne oraz podłużne, podparte odpo-

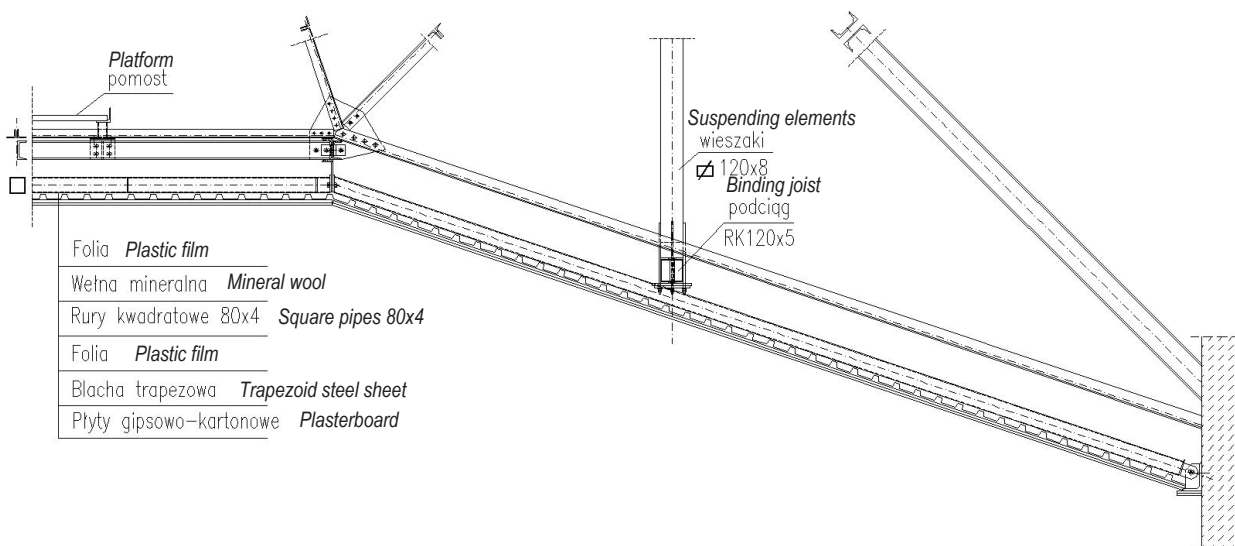
a trimmer beam. Additional batten plates made from steel sheet of thickness correspondingly 40 or 30 mm, were fixed with the rods of the roof trusses with 4 bolts M12 cl. 5.6. Similar strengthening was required for the posts coming up to the nodes of the upper chords, in which intermediate purlins are seated. In this case additional batten plates were made from steel sheet of 10 mm in thickness, and were fixed with angle sections with 2 bolts M10 cl. 5.6.

Intermediate purlins of 4.7 m in span, resting on triangular roof trusses, had to be strengthened mainly because of higher load of the roof with snow. This strengthening was realized using flat bars 120 × 10 mm, which were fastened to the bottom chords using bolts M10 cl. 5.6, at a suitable spacing over the length.

Strengthening was also required for two basket purlins which are supported in the nodes of the upper chord of trapezoidal truss with trimmer beam. In that case strengthening was made with the help of two flat bars 120×8 mm, which were fastened symmetrically on both sides to the webs of I-sections 180 with bolts M10 cl. 5.6 suitably set along the length.

The bearing construction of the ceiling was made from steel square pipes 80×80×4 mm, making up transverse ribs (consisting of three spreading elements, fixed with bolts), which were set along the hall at about every 1.2 m. These ribs became suspended under the lower chords of the roof trusses, whereas in the central part the suspension was fixed to the existing grillage of U-sections 100 suitably strengthened with U-sections 120. The side elements of the ribs became additionally linked, between the U-sections 100 grillage and the longitudinal walls of the hall, to the longitudinal binding joists running along the hall, made from square pipes 120×120×5 mm, hung on flat bars 120×8 mm under the nodes of the upper chords of the roof trusses in which the intermediate purlins are supported. The supporting of transverse ribs on the longitudinal walls of the gym was made with sliding joints, on angle sections 150×100×10 mm fastened to the walls with wall anchors made from rods M12×260 mm, cl. 5.6, inserted to the depth 210 mm, set at approx. every 60 cm. Fig. 5 shows the transverse cross-section of the discussed suspended ceiling.

The ceiling from the side of the transverse walls of the gym is closed with four basket ribs (slant) made from pipes 80×80×4 mm, supported similarly as the transverse ribs. The bearing construction of the ceiling from the side of transverse walls of the hall is made up from single-span ribs: transverse



Rys. 5. Przekrój poprzeczny nowego sufitu podwieszonego, [mm]
 Fig. 5. Cross-section of the a new suspended ceiling, [mm]

wiednio na żebrach poprzecznych lub koszowych i ścianach poprzecznych.

Wszystkie nowe elementy konstrukcyjne wykonano ze stali gatunku St3S (S235). Tylko nagwintowane na końcach pręty o średnicy 10 mm, przyspawane do wieszaków z płaskowników 120×8 mm, umożliwiające połączenie ich z podciągami z rur 120×120×5 mm, zostały wykonane ze stali 18G2 (S355). Połączenia warsztatowe w nowych elementach wykonano jako spawane, w odróżnieniu od połączeń montażowych, które zaprojektowano na śruby. Połączenia natomiast elementów nowych z konstrukcją istniejącą wykonywano na śruby. W większości przypadków zalecane było wiercenie otworów na śruby podczas montażu.

Nad sufitem zaprojektowano pomost technologiczny o szerokości ok. 800 mm, umożliwiający przeprowadzanie okresowych przeglądów konstrukcji dachu. Tworzą go ramki wykonane z kątowników, które za pośrednictwem słupków z rur kwadratowych zostały oparte na ceownikach 100 (istniejącego rusztu oraz nowo zamontowanych). Słupki pomostu połączone z ceownikami na śruby M12. W przypadku ceowników 100 istniejącego rusztu konieczne było uprzednie przymocowanie do nich, na śruby M10, elementów wspornikowych. Ramki pomostu wypełniono ocynkowanymi kratkami pomostowymi typu Wema.

Konstrukcja nośna sufitu podwieszonego z rur kwadratowych została obudowana od strony wewnętrznej sali gimnastycznej ocynkowaną blachą trapezową, o wysokości fałdy ok. 40 mm, układaną co najmniej jako trzyprzęsłowa. Przymocowanie blach trapezowych do rur 80×80×4 mm przewiduje się od dołu, na wkręty samowierzące [4], po jednym wkręcie w każdej fałdzie. Blachy

and longitudinal, supported suitably on the transverse ribs or the basket ribs and the transverse walls.

All new constructional elements have been made from steel St3S (S235). Only rods threaded on ends, of 10 mm in diameter, welded to the suspension members made from flat bars 120×8 mm, enabling their linking with binding joists made from pipes 120×120×5 mm, were made from steel 18G2 (S355). The workshop made connections in the new elements were executed as welded, in distinction from assembly connections, which were designed to be linked with bolts. Connections of new elements with the existing construction were executed with bolts. In most cases it was recommended to drill orifices for bolts when assembling.

Over the ceiling a technological platform was designed, about 800 mm in width, which will enable carrying out periodical inspections of the roof construction. It consists of frame boxes made from angle sections, which with the help of posts made from square pipes became supported upon U-sections 100 (of the existing grillage and newly installed). The posts of the platform are fixed with U-sections with bolts M12. In the case of U-sections 100 of the existing grillage it was necessary first to have supporting elements fixed thereon, with the help of bolts M10. The frame boxes of the platform were filled with galvanized grids of Wema type.

The bearing construction of the suspended ceiling made from square pipes became built around from the internal side of the gym with trapezoid galvanized steel sheet, of the height of the fold approx. 40 mm, arranged at least as three-span structure. Fastening of the trapezoid steel sheets to pipes 80×80×4 mm is foreseen to be done from the bottom, with self-piercing screws [4], one screw in each

układano z podłużnym zakładem na jedną fałdę i łączono między sobą wkrętami samowiercącymi w rozstawie co 30 cm. Na blachach ułożone zostanie ocieplenie w postaci 15. cm miękkiej wełny mineralnej.

Blacha trapezowa sufitu została obudowana od dołu (od strony wewnętrznej sali), płytami gipsowo-kartonowymi Rigips GFK o grubości 12,5 mm układanymi dwuwarstwowo, jak w systemie RIGIPS 4.10.31 lub 4.10.32 (por. AT-15-4637/2000). Tak wykonany sufit podwieszony odpowiada klasie odporności ogniowej F 0,5 (REI 30) i stanowi membranowe zabezpieczenie przeciwpożarowe konstrukcji stalowej przekrycia [5].

4. Wykonanie nowego sufitu

W chwili przygotowywania pracy kontynuowany był remont omawianego dachu i wykonywany sufit podwieszony. Na rysunku 6 pokazano węzeł pasa dolnego kratownicy trapezowej, w którym zrealizowano zarówno podwieszenie nowego sufitu, jak i wzmocnienie pasa ze względu na kruche pęknięcie jednej z jego gałęzi, podczas katastrofy dotychczasowego sufitu. Rysunki 7 i 8 przedstawiają konstrukcję nośną nowego sufitu podwieszono, odpowiednio w widoku ogólnym (rys. 7) i w zbliżeniu (rys. 8), na którym widoczne są szczegóły zarówno konstrukcji sufitu, jak i wzmocnienia prętów wiązarów trójkątnych.

Warto dodać, że na etapie uzgodnień z rzeczoznawcą od zabezpieczenia przeciwpożarowego, zapadła decyzja o dodatkowym wykonaniu zabezpieczenia przeciwogniowego konstrukcji stalowej za pomocą farb pęczniących. Należało więc na tym etapie określić temperaturę krytyczną konstrukcji stalowej przekrycia sali gimnastycznej [5].

Ustalono ją nietypowo na poziomie 500°C, kierując się głównie zaleceniami normy [6]. Miały na to wpływ: długi czas eksploatacji istniejącej konstrukcji, poziom wyężenia jej elementów, a także fakt, że w konstrukcji przekrycia w większości występują pręty klasy 4.

Na etapie ustalenia technologii zabezpieczenia przeciwogniowego farbami pęczniącymi, pojawił się problem z dwugałęziowymi prętami, dla których współczynniki masywności

fold. The sheets are arranged as overlapping longitudinally at the depth of one fold, fixed together with self-piercing screws set at every 30 cm. Thermal insulation in the form of 15 cm thick layer of soft mineral wool will be laid on the steel sheet.

The trapezoid steel sheet of the ceiling was built around from the bottom side (from the side of the interior of the hall), with plasterboards Rigips GFK of 12.5 mm in thickness applied in two layers, like in the system RIGIPS 4.10.31 or 4.10.32 (cf. AT-15-4637/2000). So made suspended ceiling corresponds to the fire resistance class F 0.5 (REI 30) and makes a membrane fire-fighting protection of the steel construction of the roofing [5].

4. Realization of the new ceiling

At the moment of preparing the work the repair of the above mentioned roof was being continued and the suspended ceiling was being made. Fig. 6 shows a node of the bottom chord of trapezoid truss in which both suspension of the new ceiling and strengthening of the chord have been made. The strengthening was made because of brittle cracking of one of its branch, during the catastrophe of the hitherto existing ceiling. Drawings 7 and 8 present the bearing construction of the new suspended ceiling, respectively in general view (fig. 7) and in a close-up (fig. 8), where the details are visible, both of the construction of the ceiling and of the strengthening of the rods of triangular roof trusses.

It is worth adding that at the stage of making co-ordinations with the expert of fire-fighting protection it was decided to make an additional fire protection of the steel construction using swelling paints. Then at that stage it was necessary to establish the critical temperature of the roofing of the gym [5]. It was established at the atypical level of 500°C, mainly because of following the recommendations of the standard [6]. This was influenced by: long time of exploitation of the existing construction, the level of effort of its elements, and also the fact that the rods in the construction of the roofing are mostly of class 4.

At the stage of establishing the technology of fire protection with swelling paints, there occurred a problem with two-branch rods, for which the coefficients of massiveness



Rys. 6. Widok wzmocnionego węzła pasa dolnego wiązara trapezoidalnego
Fig. 6. View of the strengthened node at the bottom chord in the trapezoidal truss



Rys. 7. Widok ogólny konstrukcji nośnej nowego sufitu

Fig. 7 A general view of the supporting structure of the new ceiling



Rys. 8. Zbliżenie na konstrukcję nośną sufitu podwieszanego (opis w tekście)

Fig. 8. A close-up of the supporting structure of the new ceiling (described in the text)

$$w_m = \frac{U}{A} \quad (1)$$

gdzie: w_m w m^{-1} , U = obwód przekroju ekspozowany na ogień, A = pole przekroju poprzecznego elementu konstrukcyjnego, osiągają w niektórych przypadkach wartości graniczne równe 400. Chcąc zmniejszyć współczynniki masywności w przypadku elementów dwugałęziowych, z prześwitem między kształtownikami wynoszącym 10 mm, zaproponowano wypełnienie szczelin między gałęziami paskami z płyt ogniochronnych (np. firmy Promat). W efekcie, dzięki zmniejszeniu obwodu przekrojów ekspozowanych na ogień, uzyskuje się współczynniki w_m mniejsze o około 25%. Korzyści z takiego zabiegu są podwójne. Zmniejsza się mianowicie o około 30% wymagana grubość warstwy z farby pęczniającej na elemencie (co przekłada się na liczbę powłok do wykonania), a ponadto unika malowania tymi farbami trudno dostępnymi powierzchni wewnętrznych.

5. Wnioski i zalecenia

Prace związane z termomodernizacją obiektów budownictwa powszechnego (budynków), w szczególności tych o charakterze zabytkowym, powinny być poprzedzone kompleksową oceną stanu technicznego tych obiektów, w ramach której należy przeprowadzić m.in. analizy statyczno-wytrzymałościowe ich konstrukcji nośnych. Jest wiele śmiałych rozwiązań konstrukcyjnych, zrealizowanych tuż po wojnie, które nie uzyskiwałyby obecnie akceptacji. Do takich należał dotychczasowy strop sali gimnastycznej o konstrukcji tarczownicowej, wykonany w budynku murowanym o ścianach bez jakichkolwiek wieńców. O równowadze tego sufitu decydowało w dużym stopniu jego za-

wherein: w_m in m^{-1} , U = the perimeter of the cross-section exposed to fire, A = area of the cross-section of the constructional element, achieve in some cases the boundary values equal 400. In order to reduce the coefficients of massiveness in the case of two-branch elements, with the clearance between the sections being 10 mm, it was proposed to pack the slit between the branches with strips of fireproof plates (e.g. made by firm Promat). In the result, thanks to decrease in the perimeter of cross-sections exposed to fire, the obtained coefficients w_m are smaller by about 25%. The advantages from such an act are double. The required thickness of the coat of swelling paint on the element gets lower by about 30% (which means fewer coats of paint to be applied), and moreover one avoids applying the paints on hardly accessible internal surfaces.

5. Conclusions and recommendations

Works connected with thermal modernization of the objects of general building (buildings), especially these of antique character, should be preceded by a complex assessment of technical condition of these objects, within such an assessment one should amongst other carry out static-strength analyses of their bearing constructions. There are many bold constructional solutions, realized after the war, which now would not obtain acceptance. One of these was hitherto existing ceiling of the gym of the folded plate structure, which was executed in a brick building with walls without any wall coping. The equilibrium of this ceiling depended to a great extent both on basically not yielding

równy w zasadzie niepodatne podparcie poziome na ścianach, jak i symetryczne obciążenie wyłącznie ciężarem własnym. Ten pierwszy warunek nie był spełniony od początku, a drugi był naruszony w trakcie długoletniej eksploatacji.

Na etapie odbioru wykonanego po wojnie sufitu, należało dokonać co najmniej korekty w zakresie jego tymczasowego podwieszenia (na czas wykonywania) do konstrukcji przekrycia. Pozostawienie podwieszeń i podparcia szyn na prętach wiązarów przekrycia, stanowiło realne zagrożenie rozwinęcia się katastrofy sufitu w katastrofę całego dachu tego skrzydła szkoły. Ten mankament powinien być natychmiast usunięty w efekcie rzetelnych okresowych przeglądów technicznych konstrukcji. Niestety obowiązek tego typu przeglądów został wprowadzony dopiero niedawno.

Jest wiele obiektów zabytkowych, w których zastosowane są niepewne lub zdegradowane przez upływ czasu rozwiązania konstrukcyjne. Niezbędna jest ingerencja konstruktorów, aby te rozwiązania skorygować lub zastąpić nowymi. Nie powinno się oczekiwać na doświadczalną weryfikację tych wątpliwych rozwiązań w postaci awarii lub katastrof budowlanych. Nie mamy żadnej gwarancji, że przebieg tych zdarzeń będzie równie szczęśliwy, jak omówionej w niniejszej pracy katastrofy sufitu.

horizontal supporting on the walls and symmetrical load of merely its own weight. The first condition was not fulfilled from the beginning, and the second was violated during the long lasting exploitation.

At the stage of commissioning of the ceiling executed after the war, one should have executed at least correction in the range of its temporary suspending (during execution thereof) under the construction of roofing. Leaving the suspension elements and supporting the rails on the rods of trusses of the roofing posed a real threat of developing the catastrophe of the ceiling into the catastrophe of the whole roof of this wing of the school. This shortcoming should have been immediately corrected as the result of reliable periodical technical inspections of the construction. Unfortunately this type of inspections has become obligatory just recently.

There are many antique objects in which constructional solutions which are insecure or have been made obsolete by the passage of time are applied. Constructor's interference is indispensable to have these solutions corrected or replaced by new ones. One should not wait for experimental verification of these doubtful solutions in the form of collapsing or building catastrophes. We do not have any guarantee that the course of those events will be equally lucky as that of the catastrophe of the ceiling which has been discussed in the present work.

Literatura • References

- [1] Gosowski B., Bodarski Z., Gosowski M., Kasprzak T., Lorkowski P., *Ocena stanów granicznych konstrukcji stalowej dachu sali gimnastycznej w Zespole Szkół nr 2 w Wałbrzychu, w związku z zawaleniem się sufitu podwieszonoego*, Raport serii SPR nr 37/2008 Instytutu Budownictwa Politechniki Wrocławskiej, Wrocław 2008.
- [2] Dudkiewicz J., Gosowski B., *Wykorzystanie nieniszczących badań twardości do oceny wytrzymałości stali w konstrukcjach budowlanych*, Inżynieria i Budownictwo, 62 (1), s. 48-52.
- [3] PN-90/B-03200. *Konstrukcje stalowe. Obliczenia statyczne i projektowanie*.
- [4] Gosowski B., Kubica E., *Badania laboratoryjne z konstrukcji metalowych*, Wyd. II popr., Oficyna Wydawnicza Politechniki Wrocławskiej, Wrocław 2007.
- [5] Kosiorek M., Pogorzelski J.A., Laskowska Z., Pilich K., *Odporność ogniowa konstrukcji budowlanych*, Arkady, Warszawa 1988.
- [6] PN-EN 1993-1-2:2007. Eurokod 3: *Projektowanie konstrukcji stalowych. Część 1-2: Reguły ogólne – Obliczanie konstrukcji z uwagi na warunki pożarowe*.

* Politechnika Wroclawska, Wroclaw, Polska
Wroclaw University of Technology, Wroclaw, Poland

** PROKON Firma Projektowo-Wykonawcza, Wroclaw, Polska
PROKON Firma Projektowo-Wykonawcza, Wroclaw, Poland

Streszczenie

W artykule został przedstawiony przykład historycznego budynku szkolnego, w którym na etapie przygotowywania dokumentacji związanej z poprawą współczynnika efektywności cieplnej, nie przeprowadzono oceny stanu technicznego stalowej konstrukcji przekrycia ponad jednym z jego skrzydeł, w którym na najwyższym piętrze znajduje się sala gimnastyczna. W trakcie prowadzonych prac związanych z poprawą współczynnika efektywności cieplnej wydarzyło się całkowite zapadnięcie sufitu. W tym artykule omówiono tę katastrofę i zostały wyjaśnione jej przyczyny, jak również przedstawiono projektowanie i wykonanie nowego zawieszzonego sufitu przy użyciu dotychczas istniejącej stalowej konstrukcji przekrycia. Artykuł został zakończony wnioskami i ogólnymi zaleceniami.

Abstract

An example of the historic school was presented, in which at the stage of preparing documentation regarding thermal efficiency improvement the assessment of technical condition of the steel construction of the covering over one of the wings, where on the highest storey a gymnasium is localised, was not conducted. In the process of the work connected with the thermal efficiency improvement, the total collapse of the ceiling happened. In the paper this disaster was discussed and causes thereof were clarified, as well as a design and execution of the new suspended ceiling using the existing steel covering were introduced. The paper was finished with conclusions and general recommendations.