



JAN GIERCZAK, *jan.gierczak@pwr.wroc.pl*

RAJMUND IGNATOWICZ, *rajmund.ignatowicz@pwr.wroc.pl*

WOJCIECH LORENC, *wojciech.lorenc@pwr.wroc.pl*

Politechnika Wrocławska, Instytut Budownictwa

AWARIA OBSERWATORIUM METEOROLOGICZNEGO NA ŚNIEŻCE

FAILURE OF METEOROLOGICAL OBSERVATORY LOCATED ON ŚNIEŻKA MOUNTAIN

Streszczenie Obserwatorium Meteorologiczne Instytutu Meteorologii i Gospodarki Wodnej znajdujące się na Śnieżce (1602 m n.p.m.) w Karkonoszach pełni funkcję badawczo-naukową, jak również jest obiektem turystycznym z zapleczem rekreacyjnym. W dniu 16.03.2009 r. jeden z trzech dysków Obserwatorium Meteorologicznego – tzw. dysk górny – uległ awarii. Awaria poprzedzona była efektami akustycznymi pękającej konstrukcji. Na 2/3 całości obwodu konstrukcja uległa zniszczeniu. Dolna część dysku górnego odpadła od pozostałej części konstrukcji. Budowę obiektu rozpoczęto pod koniec lat 60. XX wieku i zakończono w 1974 r.

Abstract Meteorological Observatory of the Institute of Meteorology and Water Management, located on Śnieżka (1602 m) in the Karkonosze Mts. serves as scientific research, as well as a tourist attraction with recreational facilities. On 16.03.2009, one of the three disks of Meteorological Observatory – the so-called. upper disc – has crashed. Failure was preceded by the acoustic effects of crashing construction. 2/3 of total circuit design has been destroyed. The lower part of the upper disk became detached from the rest of the structure. Construction of the facility began in the late 60th twentieth century and was completed in 1974.

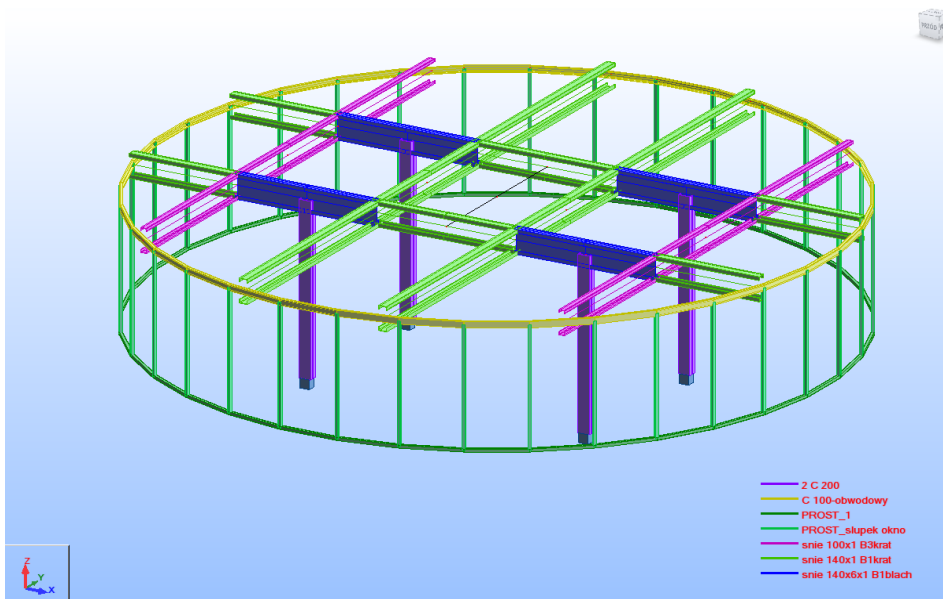
1. Opis konstrukcji dysku górnego

Obserwatorium Meteorologiczne wybudowano w konstrukcji mieszanej. Głównym elementem konstrukcyjnym jest trzon murowany z wieńcami żelbetowymi, wykorzystany jako trzon komunikacyjny pomiędzy poszczególnymi piętrami. Bezpośrednio do trzonu przylegają trzy dyski. Dyski te mają konstrukcję stalową kratową i są wykonane na różnych poziomach. Awarii uległ dysk najwyższy, czyli tzw. dysk górny.

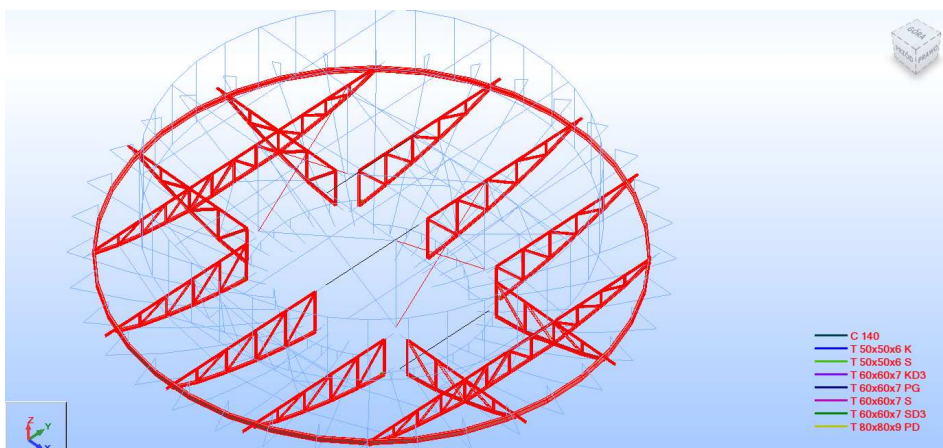
Dysk górny ma zasadnicze dwie niezależne konstrukcje. Część górna składa się z czterech belek stalowych o przekroju dwuteowym w części przypodporowej oraz w części poza podporą przechodzących w kratownice (rys. 1). Konstrukcja belek głównych jest o wysokości 400 mm. Na tej konstrukcji spoczywają płatwie, a na nich pokrycie dachowe.

Dolna część spodka górnego składa się z 8 krat wspornikowych mocowanych do trzonu klatki schodowej. Uzupełnieniem konstrukcji są 2 kraty spoczywające na kratkach wspornikowych zgodnie z rys. 2. Kraty wspornikowe mają długość od 4,14 do 5,21 m i wysokość od 1,12 do 1,30 m. Pas górny jest wykonany z teownika T60×60×7, pas dolny jest wykonany z T80×80×9, natomiast krzyżulce i słupki z T60×60×9 i T50×50×6. Pomiędzy kratami

wspornikowymi były wykonane stężenia pionowe i stężenia w płaszczyźnie dolnej krat wspornikowych.



Rys. 1. Górna część konstrukcji dysku najwyższego

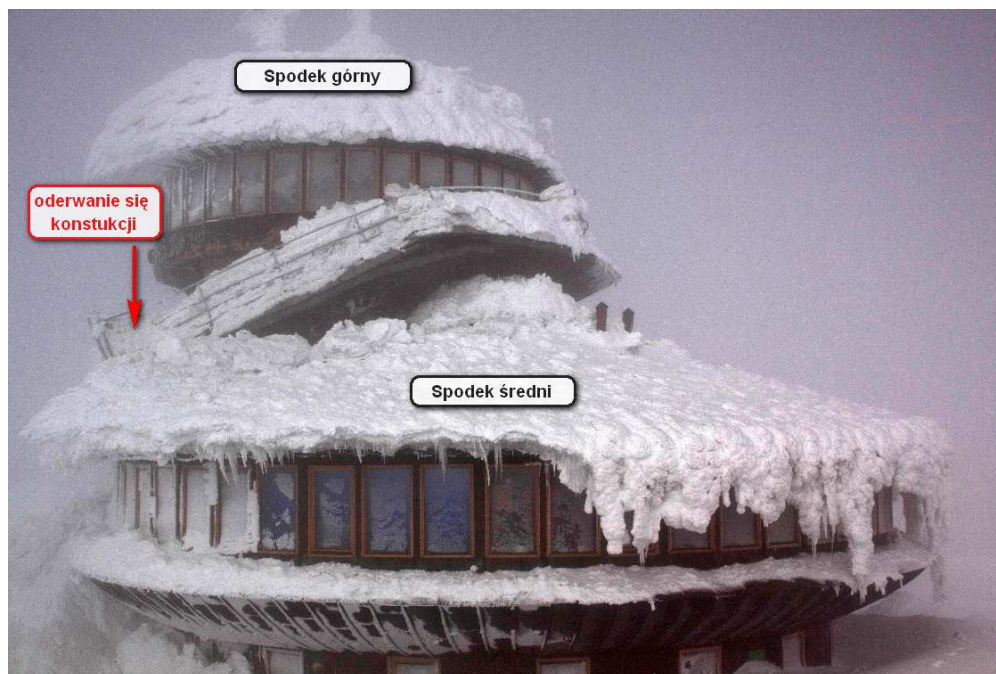


Rys. 2. Widok ogólny na konstrukcję stalową spodka górnej części dolnej

Konstrukcja stalowa była wykonana z następujących gatunków stali St3SX, St3SY, St3S o granicy plastyczności $R_e = 235$ MPa. Z uwagi na ograniczone możliwości transportowe konstrukcję obserwatorium scalano z mniejszych elementów bezpośrednio na placu budowy. Wszystkie połączenia montażowe, takie jak np. styki czołowe w pasach rozciąganych wsporników kratowych, wykonywane były bezpośrednio na placu budowy. Należy zwrócić uwagę, że zastosowane gatunki stali w istniejącej konstrukcji nie są zaliczane do stali łatwo spawalnych, a biorąc pod uwagę dużą zmienność aury pogodowej w rejonie szczytu, warunki do wykonania w/w połączeń należy zaliczyć do bardzo trudnych.

2. Obciążenie konstrukcji

Obciążenia konstrukcji położonej na szczycie o wysokości 1602 m n.p.m. jest sprawą istotną i zasadniczą, gdyż na tej wysokości obciążenia klimatyczne tj. obciążenie wiatrem i śniegiem są obciążeniami dominującymi. Należy tutaj nadmienić, że rejon Śnieżki należy do najbardziej wietrznych rejonów w Europie. Prędkość wiatru dochodzi do 240 km/h, a częstość występowania wiatru jest bardzo duża. Wystarczy przytoczyć tu dane Instytutu Meteorologicznego i Gospodarki Wodnej, która prowadzi badania meteorologiczne na Śnieżce od ponad 100 lat. Z badań tych wynika, że jest tylko 60 dni w roku, w którym to prędkość wiatru jest mniejsza niż 10 m/s [1].



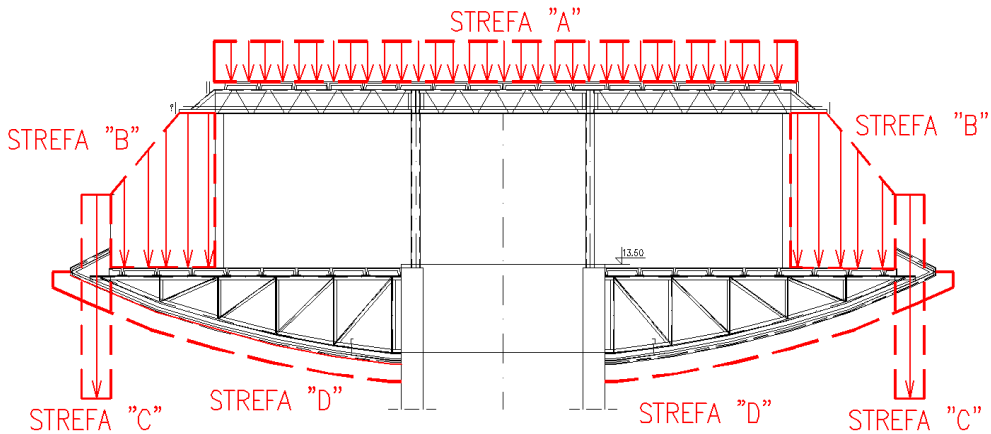
Rys. 3. Widok ogólny po katastrofie

Obciążenie śniegiem jest także obciążeniem zasadniczym z powodu osiągniętej wysokości pokrywy śnieżnej, sięgającej do 2,47 m. Ponadto, gęstość śniegu jest tutaj zbliżona do gęstości wody [1]. Z tego też powodu obciążenie śniegiem jest istotnym i dominującym obciążeniem konstrukcji. W oszacowaniu obciążeń klimatycznych posłużono się nie tylko obowiązującymi normami przedmiotowymi, lecz także danymi dostarczonymi przez IMiGW we Wrocławiu. Dane te pozwoliły zweryfikować i doprecyzować obciążenia otrzymane za pomocą norm przedmiotowych.

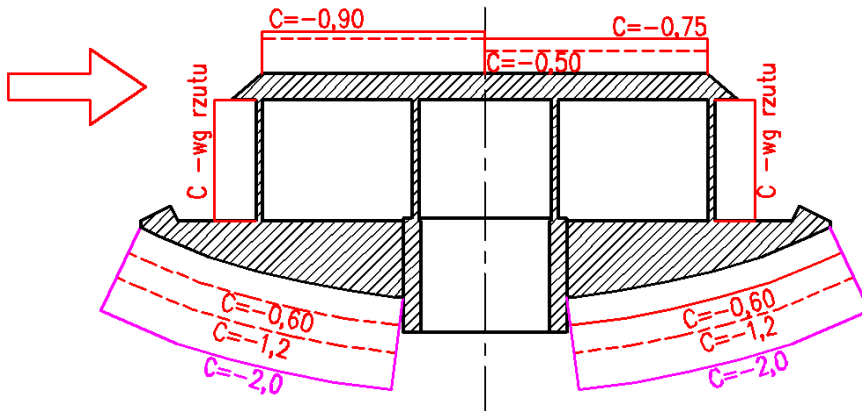
3. Badania laboratoryjne i obliczenia statyczno-wytrzymałościowe

Przeprowadzone obliczenia statyczno-wytrzymałościowe pozwoliły określić próg naprężeń panujących w poszczególnych elementach. W elementach najbardziej wyężonych wartości naprężeń sprowadzonych (zastępczych wg H-M-H) były równe minimalnej granicy plastyczności R_e , a w niektórych przekrojach nieznacznie ją przekraczały. Konstrukcja nie ulegała zniszczeniu, gdyż rzeczywista granica plastyczności R_e jest znacznie większa.

Wyniki badań laboratoryjnych (próba rozciągania) próbek pobranych bezpośrednio z miejsca katastrofy, wykonane na Politechnice Wrocławskiej, potwierdziły duży rozrzut granicy plastyczności stali, z której została wykonana konstrukcja. Dla stali pochodzącej z tego okresu tj. z lat 70. XX wieku było to standardem. Obliczenia statyczno-wytrzymałościowe utwierdziły w przekonaniu, że część prętów musiał doznawać uplastycznienia miejscowego. Rezerwa plastyczna ustroju może być wykorzystana pod warunkiem występowania obciążeń stałych o niezmiennych się wartościach. W rozpatrywanym obiekcie obciążeniami wiodącymi są obciążenia o charakterze zmiennych takie jak śnieg, wiatr i różnice temperatur.



Rys. 4. Strefy obciążenia śniegiem

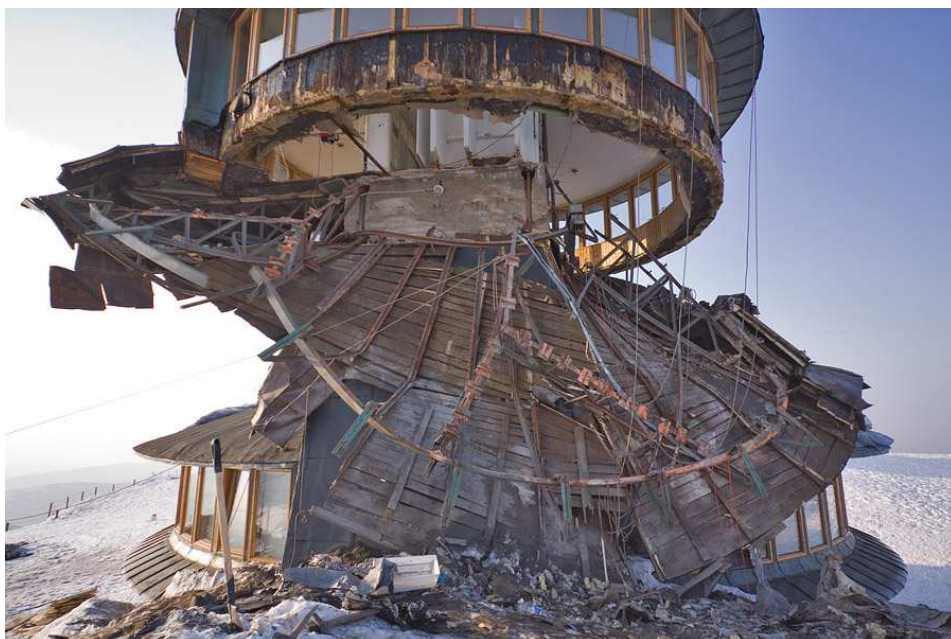


Rys. 5. Obwiednia współczynników aerodynamicznych

Z tego powodu w prętach pojawiają się naprzemiennie rozciągania wywołujące naprężenia dochodzące do granicy plastyczności, bądź naprężenia ściskające dochodzące do 60% naprężeń równych granicy plastyczności. Uwzględniając powyższy fakt należy uznać, że wytrzymałość zmęczeniowa plastyczna styków czołowych (wykonywanych na placu budowy) zostaje już wyczerpana przy liczbie cykli rzędu od 10^2 do 10^5 . Taka różnica występowała w pasie górnym przypodporowym krat wspornikowych, co spowodowało bardzo małą odporność na obciążenie zmęczeniowe (w tych miejscach wykonane były spoiny).

4. Przyczyny awarii

W dniu 16.03.2009 r. konstrukcja dolna dysku górnego uległa zniszczeniu. Awaria poprzedzona była efektami akustycznymi pękającego na 2/3 całości obwodu dysku górnego (rys. 3). Po awarii firma specjalistyczna zaczęła usuwać elementy niekonstrukcyjne i składać w wyznaczonym bezpiecznym miejscu. Pozwoliło to, bez przeszkód dotrzeć do miejsc uszkodzonej konstrukcji. Odnaleziono miejsca zerwania spoin czołowych występujących w prętach rozciąganych. Spoiny były wykonane bezpośrednio na placu budowy i nie przebiegały przez cały przekrój poprzeczny pasa rozciąganego. Spoiny łączące środniki wykonane były jako czołowe na pełny przetop grubości środnika, natomiast spoiny czołowe łączące pasy nie uzyskały pełnego przetopu materiału.



Rys. 6. Konstrukcja wraz z obudową przed usunięciem zniszczonych elementów

Pole przekroju spoiny było zdecydowanie mniejsze niż pole przekroju poprzecznego teownika. Nie bez znaczenia jest fakt, że pasy górne wsporników karatowych w zimie, przy obciążeniu śniegiem, były znacznie wyężone i dodatkowo przy wiejącym wietrze były w pełni wykorzystane. Sztywność krat była na tyle duża, że konstrukcja nie była podatna na dynamiczne działanie wiatru przy założeniu równomiernego oblodzenia dachu. W przypadku tworzenia się nawisów lodowych na krawędzi dachu, konstrukcja wykazywała wyczuwalne drgania przy bardzo silnych podmuchach wiatru, który równoważył obciążenie grawitacyjne. Powyższe spostrzeżenia autorzy potwierdzili na podstawie informacji jakie otrzymali od Użytkownika obiektu. Duża zmienność obciążenia wiatrem i śniegiem jak miała miejsce w tym czasie spowodowała, że pręty kratownic wspornikowych były obciążone cyklicznie, cyklem dwustronnym tzn. raz pręt był rozciągany raz ściskany, w zależności od pory roku. Dodatkowo pręty, które były rozciągane w zimie od obciążenia śniegiem mogły być ściskane latem od obciążenia wiatrem.

Konstrukcje poddane wielokrotnym zmiennym obciążeniom ulegają często zniszczeniu przejawiającemu się w postaci niespodziewanego pęknięcia, następującego po określonej

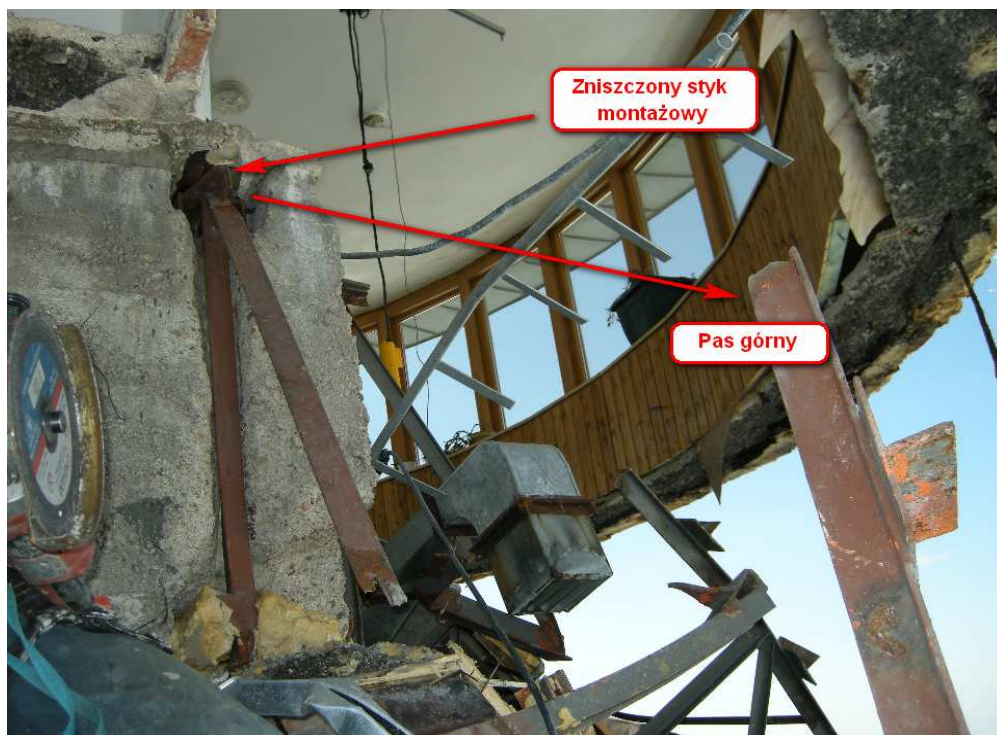
liczbie zmian obciążenia (rys. 4). Należy podkreślić, że na podstawie elektrooptycznych badań powierzchni przełomów można odtworzyć historię obciążenia, a zwłaszcza prędkość pęknięcia zmęczeniowego (liczbę cykli niszczących) oraz pośrednio wartości naprężeń. Badań tych nie udało się przeprowadzić z powodów czysto technicznych jakości materiału badawczego. Dlatego przeprowadzono symulacje komputerowe, które potwierdziły poprawność przyjętej tezy [2].



Rys. 7. Widoczne zerwanie pasa górnego kraty wspornikowej w miejscu wykonania spoiny

Pobrane próbki z miejsca uszkodzenia konstrukcji miały charakter typowego obrazu złomu zmęczeniowego niskocyklowego. Obraz ten był widoczny przy użyciu mikroskopu.

W rozważanym przypadku nastąpiło niskocyklowe zmęczenie materiału z nałożeniem zjawiska zmęczenia cieplnego tzn. przy temperaturze zmiennej w czasie. Należy tutaj nadmienić, że konstrukcja pracuje w skrajnych warunkach klimatycznych m.in. prędkość wiatru dochodzi do 65 m/s, pokrywa śnieżna sięga 2,47 m wg danych Instytutu Meteorologii i Gospodarki Wodnej. Awaria konstrukcji nastąpiła w czasie w którym nie było największego obciążenia klimatycznego. Według danych IMiGW obciążenia ekstremalne, tj. największa grubość pokrywy śnieżnej występowały w latach poprzedzających awarię.



Rys. 8. Zniszczony wspornik kratowy

5. Odbudowa dysku górnego

Odbudowę dysku górnego części dolnej rozpoczęto od usunięcia konstrukcji uszkodzonej. Zdecydowano się pozostawić część najwyższą, która przykrywała klatkę schodową oraz dysk górny. Pozostawiono także konstrukcje wieszakową wraz ze stolarką okienną. Pozwoliło to zredukować niezbędny czas na odbudowę i oczywiście zdecydowanie zmniejszyło koszty odbudowy. Odbudowę ograniczono do części dolnej dysku górnego. Ze względu na krótki czas pozwalający na odbudowę dysku (miesiące letnie) oraz brak możliwości użycia sprzętu ciężkiego konstrukcję zaprojektowano i wykonano z krótkich elementów stalowych odtwarzając uszkodzoną konstrukcję. Elementy te łączono na śruby wysokiej wytrzymałości klasy 8.8. Ponadto stal zamieniono na stal S355J2 i zwiększono przekroje pasów kratownic wspornikowych. Najślabszym elementem całej konstrukcji jest połączenie kratownic wspornikowych z trzonem komunikacyjnym. Trzon ten wykonano jako murowany z cegły pełnej z wieńcami żelbetowymi o wysokości równej wysokości krat wspornikowych. Połączenie z trzonem komunikacyjnym konstrukcji wykonano za pomocą gorsetu stalowego wykonanego z dwóch ceowników C300 biegnącego wewnątrz i zewnątrz trzonu, a następnie spiętego za pomocą prętów stalowych o średnicy 30 mm. Ze względu na panujące warunki klimatyczne nie stosowano kołków wklejanych itp. (za dużą wilgotność powietrza) [3].

Zmieniono także podłogę tzn. na kratkach wspornikowych spoczywała teraz blacha z żebrami. Na blachach stalowych mocowano izolację ze styroduru oraz płyty OSB. Na płytach tych układano linoleum. Obecnie obciążenia stałe zredukowano poprzez zastosowanie lżejszych materiałów izolacyjnych i konstrukcyjnych. Od dołu dysk jest zabezpieczony deskami o grubości 20 mm oraz papą. Całość jest dodatkowo zabezpieczona blachą miedzianą [3].

6. Wnioski końcowe

1. Na podstawie analiz, symulacji komputerowych, wizji lokalnych i badań laboratoryjnych za główną przyczynę awarii budowlanej dysku górnego Obserwatorium Meteorologicznego IMGW na Śnieżce możemy uznać niewłaściwe wykonanie spoin w prętach rozciąganych, które nie miały zdolności przenoszenia obciążeń zmęczeniowych niskocyklowych.
2. Prawdopodobnie konstrukcja nie była analizowana na obciążenia zmęczeniowe, gdyż obowiązujące w latach 60 i 70 XX wieku normy przedmiotowe nie nakazywały obliczeń obciążeniem zmęczeniowym.
3. Odbudowano Obserwatorium Meteorologiczne zachowując wcześniejszą architekturę, a konstrukcje wykonano z elementów o zdecydowanie większych przekrojach poprzecznych. Użyto stali o lepszych parametrach wytrzymałościowych i udarnościowych.

Literatura

1. Dane Instytutu Meteorologii i Gospodarki Wodnej dotyczące pomiarów prędkości wiatru i pokrywy śnieżnej na Śnieżce.
2. Ekspertyza techniczna dot. przyczyn awarii dysku górnego i zabezpieczenia pozostałej części konstrukcji przed dalszą degradacją Wysokogórskiego Obserwatorium Meteorologicznego na Śnieżce 1602 m n.p.m.; Polska Technika Budowlana „POLTEBUD” 2009.
3. Projekt budowlany i warsztatowy odbudowy dysku najwyższego – część konstrukcyjna, Polska Technika Budowlana „POLTEBUD” lipiec 2009.