

dr inż. Jakub Miszczak, prof. uczelni<sup>1)</sup>

ORCID: 0000-0002-8687-3093

dr inż. Iwona Szer<sup>1)\*</sup>

ORCID: 0000-0002-7069-6950

# Wpływ ciężaru pokrycia dachowego i okresu powstania obiektów z dachami o kratownicowej konstrukcji stalowej na ich bezpieczną eksploatację

## *The influence of the weight of the roof covering and the period of construction of structures with steel truss roofs on their safe exploitation*

DOI: 10.15199/33.2024.06.09

**Streszczenie.** W artykule opisano zmiany w podejściu do uwzględniania obciążenia od śniegu i ciężaru własnego w obliczeniach stalowych dźwigarów dachowych na przestrzeni ostatnich sześćdziesięciu lat. Przeprowadzono również analizę wyęźnienia elementów konstrukcyjnych dachów hal stalowych na przykładzie trzech obiektów. W przypadku zastosowania lekkich warstw pokrycia i bez przestrzeni technologicznych, zmiana wartości obliczeniowej sumarycznego obciążenia połączenia, wynikającej z innych zasad obliczania w okresie projektowania i obecnie, może przekraczać 25%. Tak duży wzrost obciążenia, szczególnie podczas obfitych opadów śniegu, w wielu przypadkach może prowadzić do zmiany wyęźnienia elementów konstrukcji, przekraczającej wartości dopuszczalne, czego konsekwencją może być awaria obiektu.

**Słowa kluczowe:** projektowanie; dźwigary stalowe; obciążenie śniegiem.

**Abstract.** The article describes changes in the way of taking into account the snow loads and dead loads in the static calculations of steel roof girders over the last 60 years. An analysis of the load capacity utilization of structural elements of three steel hall roofs was also carried out. When using light covering layers and without technological spaces, the change in the design value of the total load on the roof resulting from different calculation rules at the time of their design period may exceed 25%. Such a large increase in load, especially during heavy snowfall, may in many cases lead to a change in the load capacity utilization of structural elements exceeding the permissible values, which may result the failure of the object.

**Keywords:** design; steel girders; snow load.

Dachy o kratownicowej konstrukcji stalowej należą do jednych z najlżejszych w budownictwie przemysłowym. W przypadku tego typu konstrukcji procentowy udział ciężaru własnego we wszystkich obciążeniach występujących w trakcie eksploatacji nie jest zwykle dominujący. Rodzaj konstrukcji pokrycia dachowego decyduje o tym, czy zmienne obciążenia klimatyczne przeważają nad obciążeniami stałymi, czy też nie. Globalne ocieplenie się klimatu przyczynia się do wzrostu prawdopodobieństwa wystąpienia ekstremalnych zjawisk pogodowych [1 – 2]. Z jednej strony zmiana klimatu powoduje zmniejszenie średniej ilości i częstotliwości opadów śniegu, ale z drugiej zwiększa się ryzyko wystąpienia ekstremalnych opadów śniegu [3] oraz burz z wiatrem o dużej sile [2 ÷ 6], co prowadzi do zwiększenia wartości obciążeń zmiennych przypadających na konstrukcję, które mogą się przyczynić do jej zniszczenia.

Skutkiem tego są nie tylko znaczne szkody gospodarcze, ale przede wszystkim śmierć osób [7 ÷ 9].

Obiektami narażonymi na zawalenie są m.in. hale o dużej rozpiętości z lekkimi dachami. Jednym z takich przykładów jest katastrofa budynku Międzynarodowych Targów Katowickich w 2006 r. Zginęło w niej 65 osób, a ponad 140 zostało rannych. Hala miała konstrukcję stalową i wymiary zewnętrzne 96 × 103 m. Jedną z przyczyn tego zdarzenia było nierównomierne obciążenie dachu śniegiem [10]. W 2006 r. w Bawarii wskutek wzrostu obciążenia śniegiem doszło również do kilkunastu uszkodzeń konstrukcji dachów, w tym kilku hal [11]. Z kolei w 2010 r., w wyniku znacznych opadów śniegu, nastąpiło zniszczenie części dachu hali magazynowej o konstrukcji stalowej w Stalowej Woli [12]. W tym samym roku po opadach śniegu miało miejsce niesygnalizowane zawalenie się fragmentu dachu pawilonu handlowego. Uszkodzone zostały 3 stalowe dźwigary kratownicowe o rozpiętości 24 m i rozstawie 6 m, zlokalizowane w środkowej części obiektu [13]. Na szczęście w wyniku obu tych zdarzeń nikt nie został ranny. W 2023 r. w Spytkowicach w Małopo-

<sup>1)</sup> Politechnika Łódzka, Wydział Budownictwa, Architektury i Inżynierii Środowiska

<sup>\*</sup>) Adres do korespondencji: iwona.szer@p.lodz.pl

sce również pod naporem śniegu zawalił się dach hali magazynowej [14]. Gwałtowne zmiany klimatu, a także zmiany w podejściu do uwzględniania obciążenia śniegiem i wiatrem w obliczeniach elementów konstrukcyjnych na przestrzeni ostatnich sześćdziesięciu lat powodują konieczność dokładnego przyjrzenia się obiektom o opisanej konstrukcji.

W artykule opisano zmiany w przyjmowaniu obciążeń oraz analizę wytrzymałości elementów kratownic na przykładzie trzech obiektów. Ze względu na małe nachylenie ich połaci dachowych i związany z tym efekt odciążenia konstrukcji z uwzględnieniem kombinacji obciążeniowej obejmującej wpływ wiatru (ssanie), w analizie obciążeń klimatycznych pominięto jego wpływ.

### Zmiany w podejściu do uwzględniania obciążenia stałego i obciążeń klimatycznych

W ciągu kilkudziesięciu lat zmieniały się normy, na podstawie których obliczano obciążenia oddziałujące na konstrukcje. W latach sześćdziesiątych XX w. były to PN-B-02009:1960 [15] i PN-B-02010:1957 [16], w latach siedemdziesiątych PN-B-02009:1974 [17] i PN-B-02010:1970 [18], a do końca 2020 r. można było posługiwać się PN-B-02001:1982 [19] i PN-B-02010:1980 + Az1 (X 2006) [20]. Obecnie stosowane są Polskie Normy wprowadzające normy europejskie PN-EN 1990 [21], PN-EN 1991-1-1 [22] oraz PN-EN 1991-1-3 [23]. Z wymienionymi normami skalibrowane były normy do projektowania konstrukcji stalowych. W latach sześćdziesiątych i siedemdziesiątych XX w. była to PN-B-03200:1962 [24], do końca 2020 r. PN-B-03200:1990 [25], a obecnie norma PN-EN 1993 [26]. Podstawową różnicą w podejściu do projektowania na początku analizowanego okresu i obecnie jest metoda obliczeń. **W latach sześćdziesiątych konstrukcje projektowano metodą naprężeń dopuszczalnych, a obecnie metodą stanów granicznych.**

Globalna analiza skalibrowanych ze sobą w danym okresie norm, określających wartości obciążeń oraz podających metody obliczeniowe, pozwala na wyodrębnienie częściowych współczynników bezpieczeństwa przyjmowanych w obliczeniach.

Zgodnie z normami [15 – 16] były to współczynniki obciążenia „ $\alpha$ ” przyjmujące wartości:

- $\alpha = 1,1$  w przypadku obciążeń od ciężaru własnego konstrukcji stalowych;
- $\alpha = 1,2$  w przypadku innych materiałów;
- $\alpha = 1,15$  w przypadku obciążeń od śniegu.

Natomiast w latach siedemdziesiątych zgodnie z normami [17 – 18] współczynniki obciążenia miały wartości:

- $\alpha = 1,1$  w przypadku ciężaru własnego konstrukcji;
- $\alpha = 1,2$  w przypadku warstw pokrycia dachu;
- $\alpha = 1,4$  w przypadku obciążeń od śniegu.

Do końca 2020 r., zgodnie z normami [19 – 20], stosowano współczynniki obciążenia „ $\gamma_f$ ” o wartościach:

- $\gamma_f = 1,1$  w przypadku ciężaru własnego konstrukcji;
- $\gamma_f = 1,2$  w przypadku prefabrykowanych warstw pokrycia dachu;
- $\gamma_f = 1,5$  w przypadku obciążeń od śniegu.

Zgodnie z PN-EN 1990 [21] kombinacje oddziaływań w stanie granicznym nośności w przypadku trwałych lub przejściowych sytuacji obliczeniowych określa się wg wzoru:

$$\sum_{j \geq 1} \gamma_{G,j} G_{k,j} + \gamma_P P + \gamma_{Q,1} Q_{k,1} + \sum_{j > 1} \gamma_{Q,i} \Psi_{0,i} Q_{k,i} \quad (1)$$

gdzie:

- $\gamma_{G,j}$  – współczynnik częściowy oddziaływania stałego  $j$ ;
- $G_{k,j}$  – wartość charakterystyczna oddziaływania stałego  $j$ ;
- $\gamma_P$  – współczynnik częściowy oddziaływań sprężających;
- $P$  – miarodajna wartość reprezentatywna oddziaływania sprężającego;
- $\gamma_{Q,1}$  – współczynnik częściowy wiodącego oddziaływania zmiennego;
- $Q_{k,1}$  – wartość charakterystyczna wiodącego oddziaływania zmiennego;
- $\gamma_{Q,i}$  – współczynnik pozostałych oddziaływań zmiennych  $i$ ;
- $\Psi_{0,i}$  – współczynnik wartości kombinacyjnej oddziaływań zmiennych  $i$ ;
- $Q_{k,i}$  – wartość charakterystyczna pozostałych oddziaływań zmiennych  $i$ .

lub alternatywnie wg wzoru:

$$\sum_{j \geq 1} \gamma_{G,j} G_{k,j} + \gamma_P P + \gamma_{Q,1} \Psi_{0,1} Q_{k,1} + \sum_{j > 1} \gamma_{Q,i} \Psi_{0,i} Q_{k,i} \quad (2)$$

i wg wzoru:

$$\sum_{j \geq 1} \xi_j \gamma_{G,j} G_{k,j} + \gamma_P P + \gamma_{Q,1} Q_{k,1} + \sum_{j > 1} \gamma_{Q,i} \Psi_{0,i} Q_{k,i} \quad (3)$$

gdzie:

- $\xi_j$  – współczynnik redukcyjny niekorzystnych oddziaływań stałych  $j$ .

W załączniku krajowym [20] zaleca się, aby przy sprawdzaniu stanów granicznych STR i GEO mieć kombinację oddziaływań mniej korzystną z dwóch liczonych wg wzorów (2) i (3).

Wartości współczynników częściowych obciążeń wynoszą:

- wg wzoru (1):  $\gamma_{G,j} = 1,35$  w przypadku obciążeń stałych i  $\gamma_{Q,1} = 1,5$  w przypadku obciążeń zmiennych od śniegu (główne oddziaływanie zmienne);
- wg wzoru (2):  $\gamma_{G,j} = 1,35$  w przypadku obciążeń stałych przy jednoczesnym przyjęciu współczynnika dla śniegu  $\gamma_{Q,1} \Psi_{0,1} = 1,5 \cdot 0,5 = 0,75$  (główne oddziaływanie zmienne w przypadku obiektów położonych na wysokości do 1000 m n.p.m. na terenie państw członkowskich CEN, z wyjątkiem Finlandii, Islandii, Norwegii, Szwecji);
- wg wzoru (3):  $\xi_j \gamma_{G,j} = 0,85 \cdot 1,35 = 1,15$  w przypadku obciążeń stałych przy jednoczesnym przyjęciu współczynnika dla śniegu  $\gamma_{Q,1} = 1,5$  (główne oddziaływanie zmienne).

Wartości charakterystyczne (kiedyś normowe) obciążenia śniegiem gruntu w Polsce centralnej, przyjmowanego zgodnie z wymienionymi normami dotyczącymi projektowania wynosiły od 60 kg/m<sup>2</sup> w latach sześćdziesiątych, co odpowiada w przybliżeniu wartości 0,6 kN/m<sup>2</sup> do 0,9 kN/m<sup>2</sup> obecnie. Przytoczone wartości prowadzą do wniosku, że obciążenia obliczeniowe od śniegu uwzględniane w analizie elementów konstrukcji dachów płaskich znacznie się zwiększyły w analizowanym okresie.

W latach sześćdziesiątych obciążenie od śniegu  $S_0$  uwzględniane w obliczeniach zgodnie z normą [16] wynosiło:

$$S_0 = 1,15 \cdot S \quad (4)$$

gdzie:

$S$  – ciężar pokrywy śnieżnej w zależności od strefy kraju i pochylecia połaci dachowej.

W przypadku obiektu z dachem płaskim położonego w Polsce centralne obciążenie  $S_0$  jest równe:

$$S_0 = 1,15 \cdot 60 \text{ kg/m}^2 \cdot 1 = 69 \text{ kg/m}^2 (\sim 0,69 \text{ kN/m}^2)$$

Obecnie obciążenie obliczeniowe śniegiem  $S_d$ , jako główne oddziaływanie zmienne wg norm [21 ÷ 23], w trwałej i przejściowej sytuacji obliczeniowej określa się ze wzoru:

$$S_d = \gamma_{Q,1} \mu C_e C_t s_k \quad (5)$$

gdzie:

$\mu$  – współczynnik kształtu dachu;

$C_e$  – współczynnik ekspozycji;

$C_t$  – współczynnik termiczny;

$s_k$  – wartość charakterystyczna obciążenia śniegiem gruntu.

W przypadku takiego samego obiektu na terenie normalnym (wg Załącznika krajowego NA):  $\gamma_{Q,1} = 1,5$ ;  $\mu = 0,8$ ;  $C_e = 1$ ;  $C_t = 1$ ;  $s_k = 0,9 \text{ kN/m}^2$  (2 strefa), obciążenie śniegiem wg wzorów (1) i (3) przyjmie wartość:

$$S_d = 1,15 \cdot 0,8 \cdot 1 \cdot 1 \cdot 0,9 \text{ kN/m}^2 = 1,08 \text{ kN/m}^2$$

Uzyskana wartość jest o 56% większa od obliczonej wg wzoru (4).

Różnice w wartościach obciążeń obliczeniowych od ciężaru własnego warstw pokrycia dachowego nie zmieniły się tak znacznie na przestrzeni lat. W przypadku typowych konstrukcji o średniej wartości charakterystycznego obciążenia stałego, od warstw pokrycia  $0,7 \text{ kN/m}^2$ , dla którego główna kombinacja obliczeniowa uwzględnia pełne obciążenie śniegiem, obliczeniowa wartość obciążeń stałych wynosi  $G = 1,15 \cdot 0,7 \text{ kN/m}^2 = 0,80 \text{ kN/m}^2$ . W obliczeniach tego samego rodzaju pokrycia w latach siedemdziesiątych przyjęlibyśmy obliczeniowe obciążenie stałe  $G = 1,2 \cdot 0,7 \text{ kN/m}^2 = 0,84 \text{ kN/m}^2$ .

## Rodzaje konstrukcji stosowanych pokryć dachowych

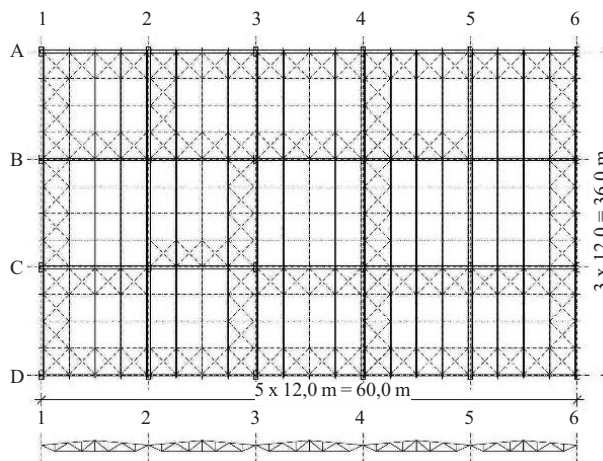
Ciężar warstw układanych na górnych pasach kratownic stalowych stanowiących konstrukcję dachu oraz ciężar własny pokrycia wynosi  $0,15 \div 2,5 \text{ kN/m}^2$ . Najlepszym rozwiązaniem są płyty warstwowe z okładzinami z blachy, których poszczególne warstwy przenoszą obciążenia stałe i zmienne, pełnią funkcję izolacji termicznej, a także izolacji wodoszczelnej. Zachowały się również stosowane chętnie w latach siedemdziesiątych i osiemdziesiątych XX w. płyty warstwowe z okładzinami cementowo-włóknowymi, pełniące rolę konstrukcji nośnej i izolacji termicznej. Dodatkowo układano na nie kilka warstw papy stanowiącej izolację wodoszczelną. Najczęściej spotykanym rodzajem pokrycia dachowego jest blacha trapezowa, na której układa się warstwę izolacji termicznej i warstwę izolacji wodoszczelnej. Ostatnim, a zarazem najcięższym ze stosowanych rozwiązań jest konstrukcja z maszynych, żelbetowych, prefabrykowanych płyt panwiowych, z warstwą izolacji termicznej i izolacji wodoszczelnej. Przy tak dużej różnicy ciężaru własnego warstw pokrycia dachowego, zmiana wartości obciążenia śniegiem przyjmowanego w obliczeniach jest szczególnie istotna w przypadku konstrukcji lekkich, bowiem procentowy udział obciążenia od śniegu w przeniesieniu wszystkich obciążeń przykładowych do konstrukcji jest znaczny.

W obiektach, w których główną konstrukcją dachu stanowią kratownice stalowe, często spotyka się wykorzystanie przestrzeni pomiędzy pasem dolnym a górnym kratownic na rozproszanie instalacji technologicznych. Przestrzeń ta może być zamknięta sufitem podwieszanym, a dostęp do instalacji zapewnia się przez montaż podestów roboczych. Obciążenia od podestów i instalacji przekazują się najczęściej bezpośrednio na główne dźwigary dachowe bez dociążania płatwi.

## Analiza wytrzymałości elementów kratownic dachowych wybranych obiektów

Analizę wykonano na przykładzie trzech obiektów zrealizowanych w Łodzi i Toruniu w latach sześćdziesiątych i osiemdziesiątych XX w. [27 ÷ 29]. W każdym z tych przypadków sprawdzenie wytrzymałości elementów konstrukcji wiązało się ze sprawdzeniem możliwości dociążenia dachu podczas termomodernizacji obiektu obejmującej ułożenie dodatkowej izolacji termicznej i nowego pokrycia wodoszczelnego na istniejących warstwach pokrycia dachowego oraz ustawienie dodatkowych central wentylacyjnych.

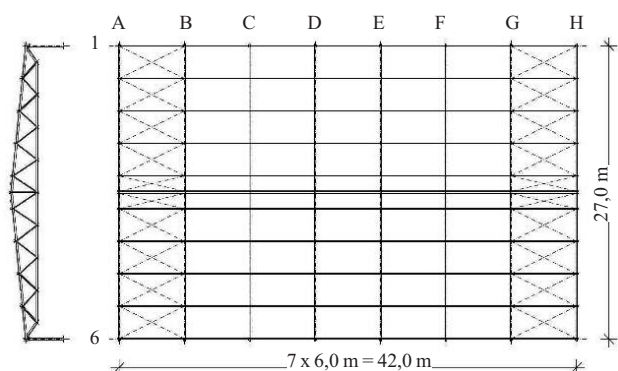
**Pierwszy obiekt** jest pięcionawowy o siatce słupów  $12,0 \times 12,0 \text{ m}$  (rysunek 1). Główne dźwigary dachowe kratowe o rozpiętości  $12,0 \text{ m}$  są w rozstawie  $12,0 \text{ m}$ . Zostały oparte przegubowo na wielogłęziowych słupach stalowych sztywno zamocowanych w fundamentach. Wysokość dźwigarów w kalenicy wynosi  $1,2 \text{ m}$ , a przy podporach –  $0,6 \text{ m}$ . Pas górny dźwigarów wykonany jest z 2 L  $90 \times 90 \times 8$ , pas dolny z 2 L  $65 \times 65 \times 9$ , skrajne krzyżulce ściskane z 2 L  $60 \times 60 \times 6$ , a pozostałe krzyżulce oraz słupki z L  $45 \times 45 \times 5$ , natomiast słupki kalenicowe z 2 L  $45 \times 45 \times 5$ . Na dźwigarach oparto płatwie kratowe o wysokości konstrukcyjnej  $0,8 \text{ m}$  i w rozstawie  $\sim 3,0 \text{ m}$ . Pas górny płatwi jest z 2 L  $60 \times 60 \times 6$ , pas dolny z L  $60 \times 60 \times 6$ , krzyżulce z L  $45 \times 45 \times 5$ . Pas dolny został wzmocniony w środkowych trzech polach wspawanym prętem  $\varnothing 12$ . Każdy z głównych dźwigarów kratowych został zabezpieczony przed obrotem w środku swojej rozpiętości, zastrzałem z L  $60 \times 60 \times 6$  biegnącym od pasa dolnego płatwi do pasa dolnego dźwigara. Płatwie dachowe usztywniono między sobą tężnikami kra-



Rys. 1. Schemat konstrukcji pierwszego analizowanego obiektu  
Fig. 1. Scheme of the structure of the first analyzed object

towymi usytuowanymi w rozstawie ~3,0 m. Tężniki mają wysokość 0,8 m, pas górny i dolny z profili L 45 x 45 x 5 i krzyżulce z prętów  $\varnothing 18$ . Dodatkowo usztywnienie połąci dachowej stanowią krzyżowe stężenia połączeniowe umieszczone w płaszczyźnie górnego pasa płatwi kratowych. Stężenia są z L 45 x 45 x 5. Obciążenie obliczeniowe istniejących warstw pokrycia dachowego wynosi 1,06 kN/m<sup>2</sup>. Nie ma przestrzeni technologicznej pod dachem.

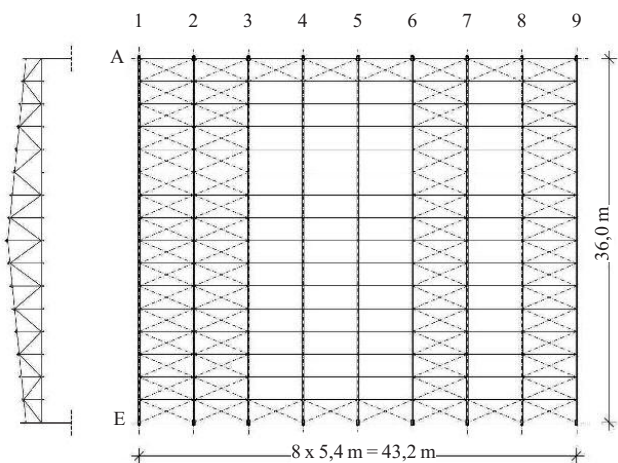
**Drugi obiekt** jest jednonawowy z dźwigarami kratowymi o rozpiętości 27,0 m, w rozstawie 6,0 m (rysunek 2). Wysokość kratownic w kalenicy ~2,4 m. Dźwigary dachowe są dwuspadowe z pasem górnym z 1/2 I 360, pasem dolnym z 1/2 I 360 i krzyżulcami z L 65 x 7, 2 L 65 x 7, L 75 x 9, 2 L 75 x 9 i 3 L 75 x 9. Płatwie zostały wykonane z kształtowników gorącowałcowanych [160 w rozstawie 3,0 m.



**Rys. 2. Schemat konstrukcji drugiego analizowanego obiektu**  
Fig. 2. Scheme of the structure of the second analyzed object

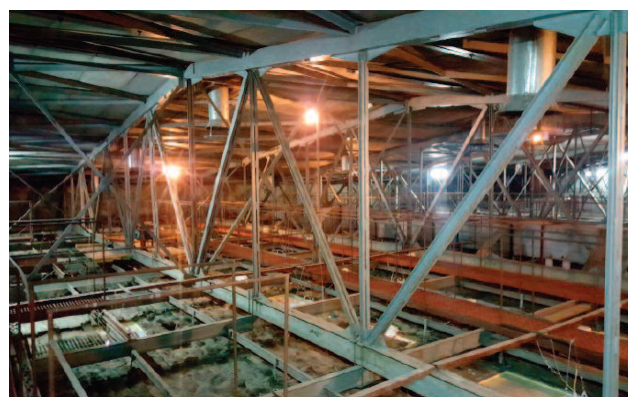
Obciążenie obliczeniowe istniejących warstw pokrycia dachowego wynosi 0,4 kN/m<sup>2</sup>. Obiekt ma przestrzeń technologiczną, z której obciążenie o wartości obliczeniowej 0,39 kN/m<sup>2</sup> przekazuje się bezpośrednio na pasy dolne dźwigarów dachowych.

**Trzeci obiekt** jest jednonawowy, z dźwigarami kratowymi o rozpiętości 36,0 m w rozstawie 5,4 m (rysunek 3). Dźwigary kratowe mają pas dolny z 2 [ ] 200 z przewiązkami. Pas górny został wykonany z 2 [ ] 200 z przewiązkami. W miejscach łączenia pasów na długości obustronne nakładki z 1/2 IPN300



**Rys. 3. Schemat konstrukcji trzeciego analizowanego obiektu**  
Fig. 3. Scheme of the structure of the third analyzed object

o długości 1,1 m. Krzyżulce skrajne zostały wykonane z 2 [ ] 140, pozostałe krzyżulce z 2 [ ] 80, bądź 2 [ ] 50 w zależności od lokalizacji. Wszystkie słupki kratownicy tworzą 2 [ ] 50. Słupki i krzyżulce mają przewiązki. Płatwie są z kształtowników gorącowałcowanych z 2 L 100 x 150 x 12 (1 L 100 x 150 x 12 w przypadku płatwi skrajnych) w rozstawie 2,25 m (we wszystkich węzłach pasów górnych dźwigarów dachowych). Obciążenie obliczeniowe istniejących warstw pokrycia dachowego wynosi 0,45 kN/m<sup>2</sup>. Obiekt ma przestrzeń technologiczną, z której obciążenie o wartości obliczeniowej 0,45 kN/m<sup>2</sup> przekazuje się bezpośrednio na pasy dolne dźwigarów dachowych. Schemat konstrukcji trzech analizowanych obiektów pokazano odpowiednio na rysunkach 1, 2 i 3. Widok przestrzeni technologicznej jednego z obiektów pokazano na fotografii.



**Widok przestrzeni technologicznej jednego z obiektów**  
View of the technological space of one of the analyzed object

Analizowane obiekty powstały w okresach stosowania różnych zestawów norm projektowych i o ile wartości obciążeń stałych przyjmowane do obliczeń kiedyś i dziś niewiele się od siebie różnią, to wartości obciążenia od śniegu znacznie. W tabeli zestawiono obciążenia obliczeniowe stałe i zmienne oraz wyężenie elementów konstrukcyjnych dachów obiektów z podziałem na okres budowy i okres obecny. W analizie pominięto wpływ obciążenia od wiatru, ponieważ przy stosunkowo ciężkich pokryciach dachowych w żadnym z przypadków nie powoduje zwiększenia wartości sił wewnętrznych lub zmiany ich znaku.

Z tabeli wynika, że największy przyrost wyężenia odnotowano w konstrukcji dachu obiektu 1, w przypadku którego wartość obciążenia obliczeniowego od śniegu zwiększyła się

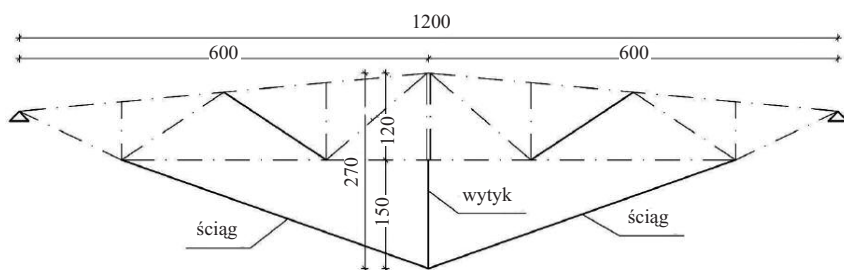
### Zestawienie obciążeń obliczeniowych i wyężenia elementów konstrukcyjnych dachu (bez zmiany układu warstw związanych z planowaną termomodernizacją)

List of design actions and strength level of roof structural elements (without change to the layer arrangement related to the planned thermal modernization)

| Obiekt | Obciążenie stałe [kN/m <sup>2</sup> ] | Obciążenie śniegiem (w okresie projektowania) [kN/m <sup>2</sup> ] | Obciążenie śniegiem (obecnie) [kN/m <sup>2</sup> ] | Wyężenie dźwigara (w okresie projektowania) [%] | Wyężenie dźwigara (obecnie) [%] |
|--------|---------------------------------------|--|--|---|---------------------------------|
| 1      | 1,06                                  | 0,69   | 1,08   | 76  | 148                             |
| 2      | 0,79                                  | 0,78   | 1,08   | 94  | 108                             |
| 3      | 0,90                                  | 0,78   | 1,08   | 90  | 98                              |

aż o 56% w stosunku do okresu, w którym obiekt został wybudowany. W przypadku obiektów 2 i 3 obciążenie śniegiem zwiększyło się o 38% i przyrost wyteżenia konstrukcji jest zauważalnie mniejszy.

Znaczne przekroczenie stanu granicznego nośności elementów dźwigara kratowniczowego w obiekcie 1 wymusiło konieczność wykonania wzmocnienia wszystkich dźwigarów. Ze względu na dużą wysokość użytkową obiektu zdecydowano się na zmianę układu statycznego dźwigara przez montaż na każdym dźwigarze ściągow z prętów  $\varnothing 30$  z wytykiem z przekroju zamkniętego  $60 \times 60 \times 4$  o długości 1,5 m. Pozwoliło to na redukcję wyteżenia dźwigara ze 148% do 99%. Schemat wzmocnienia dźwigara pokazano na rysunku 4.



Rys. 4. Schemat wzmocnienia dźwigara kratowniczowego obiektu 1  
Fig. 4. Scheme of strengthening the truss girder of structure 1

## Wnioski

W artykule przeanalizowano wybrane konstrukcje dachów w postaci kratownic stalowych wykonanych w latach sześćdziesiątych i osiemdziesiątych XX w. Wykazano przekroczenie stanu granicznego nośności elementów konstrukcji najstarszego analizowanego obiektu. W przypadku dachów stalowych obiektów z lat sześćdziesiątych i siedemdziesiątych XX w., z lekkimi warstwami pokrycia i bez przestrzeni technologicznych, różnica wartości obliczeniowej sumarycznego obciążenia połączenia wynikającej z innych zasad obliczeń w okresie projektowania i obecnie może przekraczać 25%. W przypadku opadów śniegu w ilości przekraczającej wartości normowe może być jeszcze większa. Tak duży wzrost obciążenia może w wielu przypadkach prowadzić do zmiany wyteżenia elementów konstrukcji przekraczającego wartości dopuszczalne, co skutkuje koniecznością wykonania wzmocnienia konstrukcji.

Wnioski zawarte w artykule potwierdzają konieczność bieżącego monitorowania rzeczywistego ciężaru śniegu zalegającego na połączeniach dachowych obiektów o opisywanym rodzaju konstrukcji i usuwania jego nadmiaru w celu niedopuszczenia do katastrofy obiektu.

## Literatura

- [1] Climate change as a threat to health and well-being in Europe: focus on heat and infectious diseases. EEA Report 07/2022; European Environment Agency: Copenhagen, Denmark, 2022; <https://www.eea.europa.eu/publications/climate-change-impacts-on-health>, dostęp: 28.03.2024 r.
- [2] Is Europe on track towards climate resilience? Status of reported national adaptation actions in 2023; <https://www.eea.europa.eu/publications/is-europe-on-track-towards-climate-resilience>; dostęp: 28.03.2024 r.

[3] Croce P, Formichi P, Landi F. Extreme Ground Snow Loads in Europe from 1951 to 2100. *Climate*. 2021; <https://doi.org/10.3390/cli9090133>.

[4] Żurański JA, Szer J. Trąba powietrzna na ziemi łódzkiej – 15 sierpnia 2008 roku. Genez, przebieg, skutki. *Fizyka Budowli w Teorii i Praktyce*; 2009.

[5] Taszarek M, Brooks HE. Tornado Climatology of Poland. *Monthly Weather Review*. 2015; <https://doi.org/10.1175/MWR-D-14-00185.1>.

[6] Fricker T. Evaluating tornado casualty rates in the United States, *International Journal of Disaster Risk Reduction*. 2020; DOI: 10.1016/j.ijdr.2020.101535.

[7] Chmielewski T, Szer J, Bobra P. Derecho wind storm in Poland on 11–12 August 2017: results of the post-disaster investigation. *Environmental Hazards*. 2020; DOI: 10.1080/17477891.2020.1730154.

[8] Ignatowicz RL, Gierczak J. Increase in wind load during assembly causes collapse of the hall structure, *Engineering Failure Analysis*. 2020; <https://doi.org/10.1016/j.engfailanal.2020.104538>.

[9] Gierczak J, Ignatowicz RL. Katastrofa budowlana hali stalowej podczas montażu. *Materiały Budowlane*. 2016; DOI 10.15199/33.2016.05.33.

[10] Biegus A, Rykałuk K. Collapse of Katowice Fair Building. *Engineering Failure Analysis*. 2009; <https://doi.org/10.1016/j.engfailanal.2008.11.008>.

[11] Strasser U. Snow loads in a changing climate: New risks? *Natural Hazards and Earth System Sciences*. 2008; <https://doi.org/10.5194/nhess-8-1-2008>.

[12] <https://www.stalowka.net/wiadomosci.php?dx=4219>, dostęp: 28.03.2024 r.

[13] Dunaj P, Dunaj P, Knyziak P, Krentowski J. Niesygnalizowana katastrofa przekroczenia pawilonu

obciążonego warstwą śniegu. In: Błaszczyński T, Siewczyńska M, eds. *Naprawy a trwałość obiektów budowlanych*. 2017: 291 – 300.

[14] <https://wiadomosci.gazeta.pl/wiadomosci/7,114883,30469677,w-malopolsce-runal-dach-hali-uslugowej-pod-naporem-sniegu-blisko.html>, dostęp: 28.03.2024 r.

[15] PN-B-02009:1960. Obciążenia w obliczeniach statycznych. Obciążenia stałe i użytkowe.

[16] PN-B-02010:1957. Obciążenia w obliczeniach statycznych. Obciążenie śniegiem.

[17] PN-B-02009:1974. Obciążenia w obliczeniach statycznych. Obciążenia stałe i zmienne.

[18] PN-B-02010:1970. Obciążenia w obliczeniach statycznych. Obciążenie śniegiem.

[19] PN-B-02001:1982. Obciążenia budowli. Obciążenia stałe.

[20] PN-B-02010:1980 + Az1 (X 2006). Obciążenia w obliczeniach statycznych. Obciążenie śniegiem.

[21] PN-EN 1990. Eurokod. Podstawy projektowania konstrukcji.

[22] PN-EN 1991-1-1. Eurokod 1. Oddziaływania na konstrukcje. Część 1-1. Oddziaływania ogólne. Ciężar objętościowy, ciężar własny, obciążenia użytkowe w budynkach.

[23] PN-EN 1991-1-3, 2005, Eurokod 1. Oddziaływania na konstrukcje. Część 1-3. Oddziaływania ogólne. Obciążenie śniegiem.

[24] PN-B-03200:1962. Konstrukcje stalowe. Obliczenia statyczne i projektowanie.

[25] PN-B-03200:1990. Konstrukcje stalowe. Obliczenia statyczne i projektowanie.

[26] PN-EN 1993. Eurokod 3. Projektowanie konstrukcji stalowych.

[27] Miszczak J, Miszczak H. Ekspertyza techniczna konstrukcji dachu hali magazynowej wysokiego składowania. 2009; Łódź.

[28] Miszczak J. Ekspertyza techniczna dotycząca możliwości ustawienia na dachu obiektu 2 central wentylacyjnych. 2019; Łódź.

[29] Miszczak J, Gajdzicki M. Projekt wzmocnienia konstrukcji hali sportowej i basenu. 2020; Łódź.

Przyjęto do druku: 20.05.2024 r.