

NIEKOMPLETNA INWENTARYZACJA STAŁOWYCH DŹWIGARÓW KRATOWYCH PRZYCZYNĄ PROBLEMÓW MONTAŻOWYCH I KONSTRUKCYJNYCH

DOMINIKA PILARSKA, e-mail: d.pilarska@po.opole.pl

MARIUSZ KUPINA

Politechnika Opolska

Wydział Budownictwa i Architektury

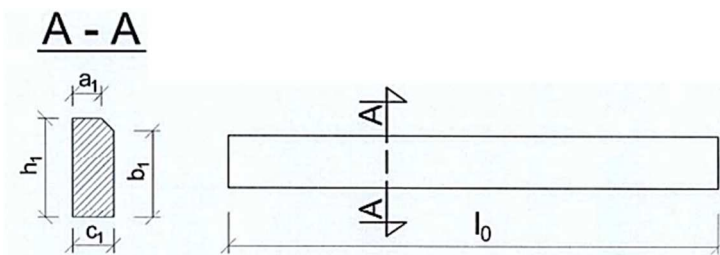
Streszczenie: Celem pracy jest przedstawienie problemów montażowych i konstrukcyjnych podczas realizacji hali magazynowej na maszyny rolnicze. Na konstrukcję dachu hali wykorzystano sześć stalowych dźwigarów kratowych z istniejącego dawnego obiektu handlowego. Zmierzono rozpiętość tylko jednego dźwigara zakładając, że pozostałe wykorzystane do budowy rozpatrywanej hali mają takie same wymiary. Niekompletna inwentaryzacja okazała się przyczyną powstałych odchyłek i problemów na etapie budowy hali. Sposób wznoszenia obiektu zaproponowany przez wykonawcę oraz wcześniejsze błędy inwentaryzacyjne stalowych dźwigarów doprowadziły do zmiany technologii wykonania hali ze szkieletowej na tradycyjną. W pracy przedstawiono błędy inwentaryzacji istniejących elementów konstrukcyjnych dachu wykorzystanych do budowy hali. Zaprezentowano zamodelowane trzy różne schematy obliczeniowe realizowanej hali. Dla wybranych dwóch słupów hali wszystkich trzech modeli przeprowadzono porównawczą analizę statyczno-wytrzymałościową. Wyniki maksymalnych wartości sił osiowych oraz momentów zginających zestawione w tablicy były podstawą podjętych decyzji.

Słowa kluczowe: inwentaryzacja, błędy montażowe, błędy konstrukcyjne, analiza statyczno-wytrzymałościowa

1. Opis konstrukcji obiektu

Rozpatrywanym obiektem jest wolno stojąca hala magazynowa o konstrukcji mieszanej na maszyny rolnicze o wymiarach 18,28×61,16 m. Całkowita wysokość hali wynosi 9,32 m.

Do konstrukcji dachu wykorzystano dźwigary z istniejącego dawnego obiektu handlowego. Spowodowało to konieczność określenia odpowiednich cech wytrzymałościowych zastosowanej w nich stali. W tym celu pobrano cztery próbki stalowe, dwie z pasa dolnego i dwie z pasa górnego dźwigara. Na rysunku 1 przedstawiono schemat pobranych próbek stalowych, z kolei w tabl. 1. zestawiono ich parametry geometryczne.

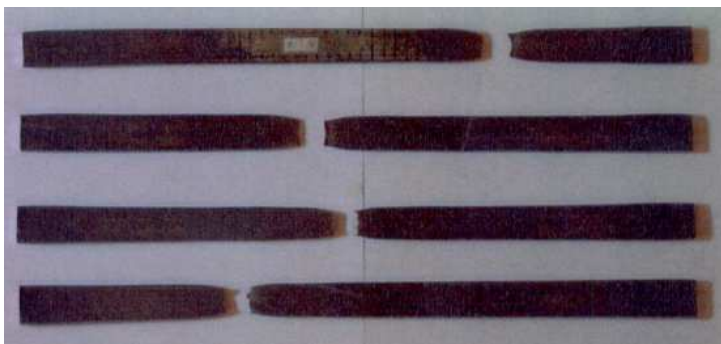


Rys. 1. Rysunek schematyczny pobranych próbek stalowych wykorzystanych do przeprowadzonych badań wytrzymałościowych

Tablica 1. Wymiary geometryczne pobranych próbek

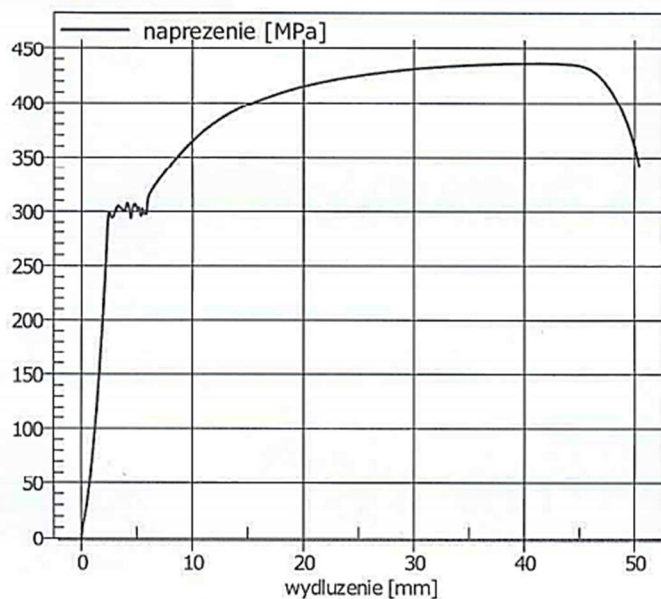
Numer próbki	a_1 [mm]	b_1 [mm]	c_1 [mm]	h_1 [mm]	l_0 [mm]
I	6,1	18,4	7,6	19,95	300
II	5,7	18,8	7,7	20,00	300
III	6,1	19,0	7,7	20,50	300
IV	6,0	19,2	7,8	20,55	300

Wszystkie cztery pobrane próbki poddano obróbce mechanicznej, a następnie statycznej próbie rozciągania. Na rysunku 2 zaprezentowano próbki po przeprowadzonych badaniach wytrzymałościowych.

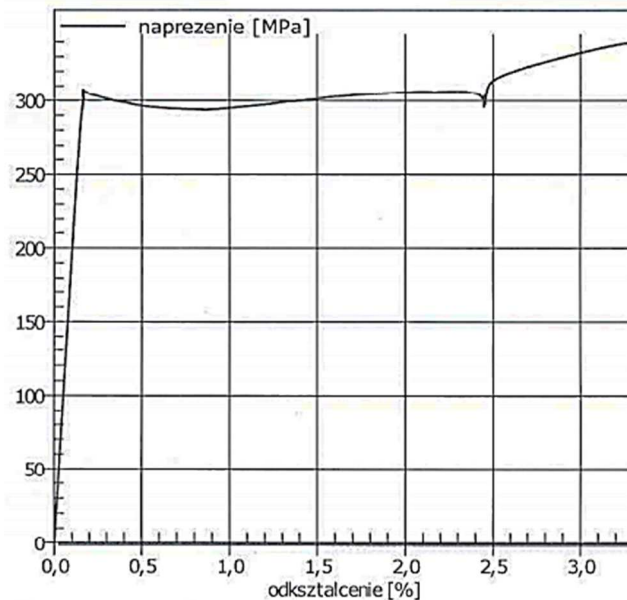


Rys. 2. Widok próbek stalowych po przeprowadzonych badaniach wytrzymałościowych

Na rysunkach 3 i 4 przedstawiono wyniki badań laboratoryjnych przykładowej próbki nr 4, obrazujące zależności: naprężenie – wydłużenie oraz naprężenie – odkształcenie.



Rys. 3. Wykres naprężenia i wydłużenia próbki nr 4



Rys. 4. Wykres naprężenia i odkształceń próbki nr 4

Wykorzystując przeprowadzone statyczne próby rozciągania pobranych próbek, dokonano ich klasyfikacji wg norm [1, 2, 3], a otrzymane wyniki zestawiono w tabl. 2.

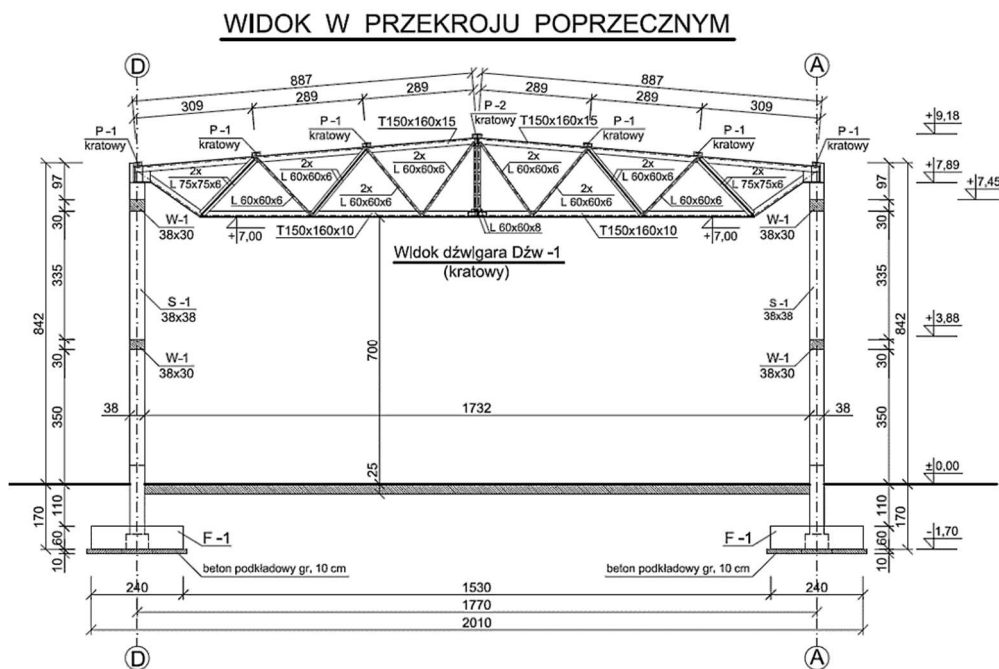
Tablica 2. Wartości parametrów określonych na podstawie przeprowadzonych statycznych prób rozciągania na czterech pobranych próbkach

Nr próbki	R_{eH} [MPa]	R_{eL} [MPa]	R_m [MPa]	E [GPa]	A_s [%]	A_{gt} [%]
1	302	294	440	-	-	18,9
2	315	306	452	-	33,5	-
3	314	304	450	197,4	32,8	-
4	299	294	436	199,2	-	18,8
Wymagane wartości wg:	R_e [MPa]					
PN-EN 10025-2:2007						
S235	≥ 235		360-510		$\geq 26, \geq 24$	
S275	≥ 275		410-560		$\geq 23, \geq 21$	
PN-84/H-84020						
St3	≥ 235		≥ 375		≥ 25	
St4	≥ 255		≥ 410		≥ 24	
PN-88/H-84020						
St3	≥ 235		360-490		≥ 26	
St4	≥ 275		420-550		≥ 20	

Do obliczania dźwigarów hali zastosowano schemat kratownicowy, przyjmując podparcie przegubowe na słupach żelbetowych. Rozpiętość układu w osiach $l_{eff} = 17,70$ m, rozstaw poszczególnych naw średnio co 12,00 m. Schemat statyczny płatwi dachowych w części hali przyjęto jako belki jednoprzęsłowe (płatwie kratownicowe). Wartości obciążenia charakterystycznego przypadające na dźwigar to obciążenie stałe stanowiące warstwy poszycia

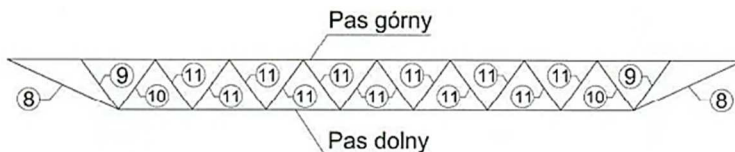
dachowego $q_s = 0,28 \text{ kN/m}^2$, obciążenie śniegiem $q_{sk} = 0,72 \text{ kN/m}^2$ oraz zestawienie wiatru przy różnych kombinacjach. Wartości obciążeń przyjęto zgodnie z normami PN-B [4, 5, 6, 7]. Dla przedstawionych obciążeń wygenerowano 20 kombinacji stanu granicznego nośności SGN i stanu granicznego użytkowania SGU.

W dźwigarze kratowym pas górny oraz pas dolny stanowi teowy kształtownik (150×160) wykonany z blach, natomiast krzyżulce wykonano z kątowników równoramiennych $75 \times 75 \times 6$, $60 \times 60 \times 6$, $60 \times 60 \times 8$. Na rysunku 5 przedstawiono przekrój poprzeczny hali z widocznym dźwigarem kratowym.



Rys. 5. Przekrój poprzeczny hali z dźwigarem głównym

Płatwie dachowe wykonano jako kratownice, w których pas górny stanowi kształtownik teowy 100×100 , pas dolny teownik 60×68 , natomiast krzyżulce to kątowniki równoramiennne $40 \times 40 \times 5$ oraz $45 \times 45 \times 5$. Stężenia pościowe zaprojektowano jako kątowniki $L 60 \times 40 \times 6$. Na rysunku 6 przedstawiono schemat pośredniej płatwi dachowej wraz z oznaczeniem poszczególnych elementów wykratań.



Rys. 6. Schemat płatwi dachowej pośredniej z oznaczeniem elementów wykratań

Na rysunku 7 zaprezentowano widok elementów konstrukcyjnych istniejącego obiektu handlowego, które wykorzystano przy budowie rozpatrywanej hali. Wszystkie elementy konstrukcyjne dachu (tj. dźwigary, płatwie, tężniki) starannie wypiąskowano, uzupełniono brakujące

spoiny w połączeniach, wzmocniono wybrane krzyżulce w dźwigarach głównych przez dodanie dodatkowych kątowników. Całość konstrukcji dachu pomalowano dwukrotnie farbą proszkową.



Rys. 7. Widok elementów konstrukcyjnych obiektu handlowego, którego dźwigary wykorzystano do budowy hali na maszyny rolnicze

Fundamenty nowej hali stanowią łąwy fundamentowe w obrębie projektowanych ścian fundamentowych oraz stopy fundamentowe w miejscach słupów konstrukcyjnych. Zastosowano beton zwykły C20/25 oraz stal zbrojeniową 18G2b. Posadowienie wykonano na warstwie z betonu klasy C7,5/10, grubości 10 cm.

Ściany fundamentowe zaprojektowano jako murowane z bloczków betonowych grubości 38 cm, na zaprawie marki 3 MPa. Ściany zewnętrzne budynku przewidziano z bloczków ceramicznych grubości 38 cm wraz z izolacją ze styropianu o grubości 10 cm, natomiast ściany wewnętrzne z bloczków ceramicznych o grubości 25 cm.

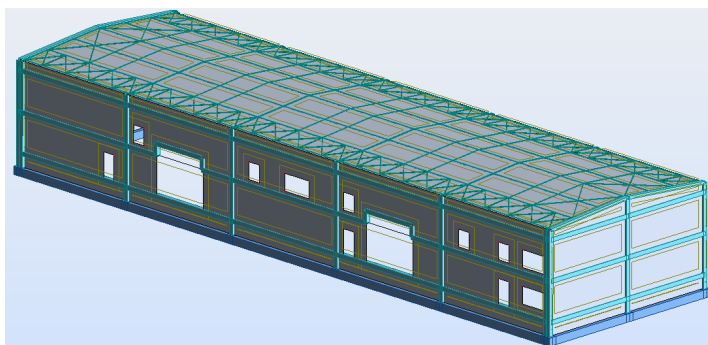
Słupy żelbetowe zaprojektowano jako kwadratowe o wymiarach 38×38 cm oraz prostokątne o wymiarach 38×65 cm, wykorzystując beton zwykły C20/25 oraz stal zbrojeniową 18G2b.

Do wykonania żelbetowych rygli podłużnych użyto beton zwykły C20/25 oraz stal zbrojeniową 18G2b. Stanowią one belki wolno podparte o wymiarach 30×40 cm.

Nadproża stanowiły typowe belki prefabrykowane typu L-19 oraz we fragmencie żelbetowe monolityczne wykonane na budowie.

Wieżce zaprojektowano jako żelbetowe z betonu C20/25, zbrojone stalą 18G2b.

Na rysunku 8 pokazano przestrzenny szkieletowy model zaprojektowanej hali magazynowej na maszyny rolnicze.



Rys. 8. Przestrzenny szkieletowy model obliczeniowy hali

2. Błędy związane z inwentaryzacją wiaty o konstrukcji stalowej

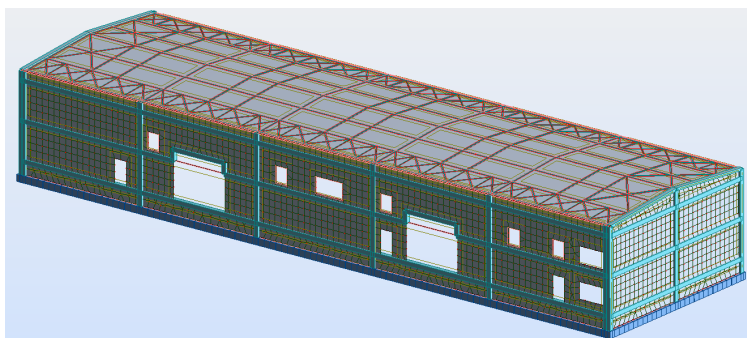
W ramach inwentaryzacji istniejących dźwigarów kratowych wykorzystanych do budowy hali na maszyny rolnicze wykonano pomiar rozpiętości tylko jednego wybranego dźwigara. Na rysunku 9 przedstawiono widok istniejącego scalonego dźwigara wykorzystanego do budowy przedmiotowej hali.



Rys. 9. Widok istniejącego dźwigara wykorzystanego do budowy hali

Dla pozostałych istniejących pięciu dźwigarów założono identyczną rozpiętość. Na etapie budowy, podczas montażu okazało się, że rozpiętości pozostałych dźwigarów różnią się wymiarami od siebie o ok. 16 mm.

Biorąc pod uwagę założony schemat montażu dźwigarów kratowych na markach stalowych uprzednio zabetonowanych w słupach żelbetowych, niemożliwe okazało się spasowanie szpilek marek stalowych z otworami w dźwigarach. Otwory te miały średnicę większą o 5 mm od średnicy szpilki. Wprowadzenie dodatkowych niewielkich mimośródów konstrukcyjnych na wykonywane słupy oraz sposób wykonywania poszczególnych prac zaproponowany przez generalnego wykonawcę spowodowały podjęcie decyzji o zmianie technologii wykonania konstrukcji obiektu ze szkieletowej na tradycyjną. W pierwotnie przyjętym szkieletowym układzie konstrukcyjnym hali, elementami konstrukcyjnymi miały być monolityczne słupy żelbetowe oraz dochodzące do nich podciąg. Ściany natomiast miały pełnić jedynie funkcję wypełnienia, nie stanowiąc elementu nośnego, co przedstawiono na rysunku 8. Z uwagi na technologię wykonania omawianej hali, postanowiono w modelu obliczeniowym uwzględnić sztywność ścian zewnętrznych wypełniających obiekt. Zmiana ta wpłynęła bardzo korzystnie na rozkład sił wewnętrznych w żelbetowych słupach oraz na dodatkowe mimośrody konstrukcyjne wynikające z niedokładnego osiowego oparcia dźwigarów kratowych na słupach żelbetowych. Na rysunku 10 przedstawiono przestrzenny model obliczeniowy hali, uwzględniający sztywności ścian.



Rys. 10. Przestrzenny model obliczeniowy hali uwzględniający sztywności ścian

3. Wybór modelu obliczeniowego

Pierwotne założenia szkieletowego modelu obliczeniowego, w porównaniu z przyjętą tradycyjną technologią wykonania oraz z wprowadzonymi większymi mimośrodami na końcach słupów, wymusiły weryfikację modelu obliczeniowego.

Do zamodelowania przestrzennego obiektu użyto program komputerowy Autodesk Robot Structural Analysis 2010, wykorzystując metodę elementów skończonych. Przy modelowaniu konstrukcji dachu uwzględniono parametry fizyczne oraz wytrzymałościowe stali, otrzymane na podstawie wykonanych statycznych prób rozciągania, które odpowiadały stali S275. Ostatecznie przyjęto stal S235 jako bardziej niekorzystną.

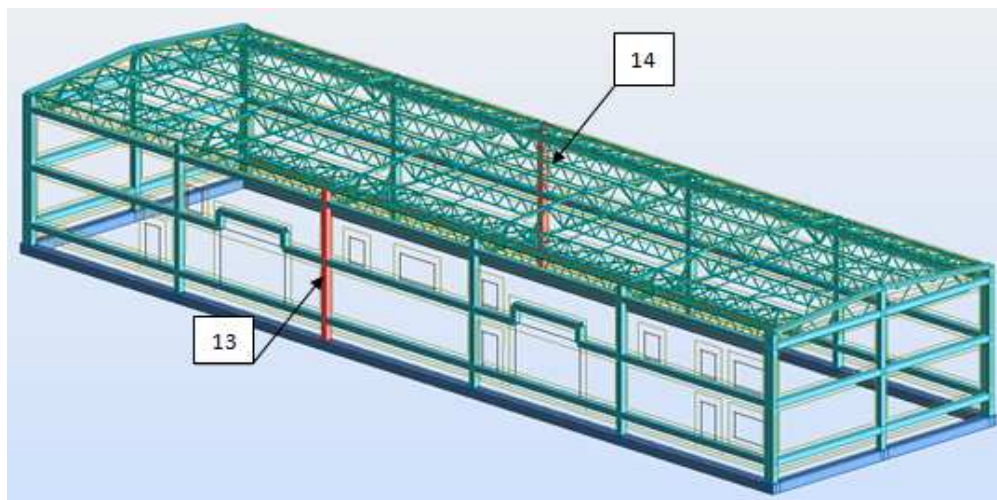
Wykonano trzy przestrzenne modele obliczeniowe. Założono powstałe konstrukcyjne mimośrody nieosiowego oparcia dźwigarów poprzez wprowadzenie w węzle górnym małego wspornika, którego długość odpowiadała ramieniu działania reakcji podporowej dźwigara przekazywanej na słup.

Pierwotny przestrzenny model szkieletowy hali (model 1) zaprezentowano na rysunku 8. Przy budowie tego modelu obliczeniowego konstrukcję główną stanowią elementy belkowe w postaci żelbetowych słupów, rygli oraz stalowych elementów konstrukcyjnych dachu. Obciążenia zewnętrzne oraz stałe przyłożono za pomocą okładzin zewnętrznych, które w sposób równomierny przekazywały je na elementy konstrukcyjne obiektu.

W modelu 2, uwzględniającym tradycyjną technologię wykonania, okładzinę zewnętrzną zastąpiono modelem ściany, który symuluje ścianę ceramiczną grubości 38 cm (rysunek 10).

Do celów porównawczych zmodyfikowano model 2, zastępując ścianę ceramiczną ścianą z betonu komórkowego o grubości również 38 cm i otrzymując tym samym model 3.

Na podstawie trzech zamodelowanych schematów hali, przeprowadzono analizę statyczno-wytrzymałościową dwóch wybranych wewnętrznych słupów. Na rysunku 11 oznaczono poddane analizie słupy nr 13 i 14.



Rys. 11. Dwa słupy poddane porównawczej analizie statyczno-wytrzymałościowej

W porównawczej analizie uwzględniono maksymalne wartości sił osiowych oraz momentów zginających na kierunku poprzecznym oraz podłużnym hali, uzyskane dla dwóch słupów (nr 13 i 14) przy różnych kombinacjach obciążeń. W tab. 3 zestawiono otrzymane wyniki wykonanych obliczeń trzech modeli hali.

Tablica 3. Zestawienie maksymalnych wartości sił wewnętrznych występujących w wybranych słupach konstrukcyjnych dla różnych kombinacji obciążeń i różnych modeli obliczeniowych

Rodzaj modelu obliczeniowego	Numer słupa	Siła osiowa N_{max} [kN]	Moment zginający na kierunku poprzecznym hali $M_{y,max}$ [kNm]	Moment zginający na kierunku podłużnym hali $M_{z,max}$ [kNm]
Model I	13	590,5	84,0	17,1
	14	586,4	89,6	9,0
Model II	13	397,8	10,0	6,13
	14	395,6	10,4	2,8
Model III	13	417,1	10,0	6,9
	14	415,3	10,4	2,8

4. Zastosowana technologia wykonania hali przeznaczanej na maszyny rolnicze

Na podstawie przeprowadzonej analizy statyczno-wytrzymałościowej, jak również uwzględniając zauważone odchyłki, do realizacji przedmiotowej stalowej hali na maszyny rolnicze przyjęto model 2 uwzględniający tradycyjną technologię wykonania.

Etapy przeprowadzonej budowy hali:

- wykonanie stóp fundamentowych oraz łąw fundamentowych,
- wykonanie ścianek fundamentowych z bloczków betonowych o grubości 38 cm, powyżej poziomu posadzki o 50 cm,
- wykonanie ścian zewnętrznych z bloczków ceramicznych Porotherm o grubości 38 cm, do wysokości 3,50 m od poziomu posadzki,
- wykonanie betonowania słupów oraz wieńców konstrukcyjnych do poziomu lica wieńca, tzn. na wysokość 3,80 m od poziomu posadzki,
- wykonanie ścian zewnętrznych z bloczków ceramicznych Porotherm o grubości 38 cm, do wysokości 7,15 m od poziomu posadzki,
- wykonanie betonowania słupów oraz wieńców konstrukcyjnych do poziomu lica wieńca, tzn. na wysokość 7,45 m od poziomu posadzki,
- wykonanie ostatniej części monolitycznego słupa żelbetowego do poziomu 7,89 cm. W tym etapie betonowania osadzono marki razem z głównymi dźwigarami kratowymi konstrukcji dachu na tymczasowych drewnianych elementach podpierających, z uwagi na wcześniejsze odchyłki poszczególnych rozpiętości w dźwigarach, co przedstawiono na rysunku 12,
- wykonanie ostatniej części ścianki osłonowej z bloczków ceramicznych Porotherm o grubości 18 cm.



Rys. 12. Osadzenie marek wraz z dźwigarem kratowym na tymczasowym drewnianym elemencie podpierającym

5. Podsumowanie

W projektowaniu i analizie statyczno-wytrzymałościowej tworzymy modele teoretyczne, które w jak najlepszy sposób powinny opisywać rzeczywistość. Bardzo ważną częścią każdego modelu teoretycznego, są właściwie zdefiniowane założenia wstępne. W pierwszej kolejności powinny one odpowiadać przyjętym rozwiązaniom konstrukcyjnym i być tożsame z technologią wykonania.

W niniejszym referacie przedstawiono wybrane rezultaty z przeprowadzonych analiz statyczno-wytrzymałościowych rozpatrywanego obiektu o konstrukcji mieszanej. Analizy przeprowadzone zostały na etapie budowy z uwagi na błędną inwentaryzację istniejących stalowych dźwigarów kratowych wykorzystanych przy wznoszeniu nowego obiektu oraz towarzyszącą zmianę technologii wznoszenia obiektu.

Należy podkreślić, że podjęte działania na etapie budowy hali przeznaczonej na maszyny rolnicze nie były skutkiem zaistniałej awarii, lecz miały charakter prewencyjny. Wykonane analizy były na bieżąco dyskutowane w gronie Inwestora, Kierownika Budowy, Wykonawcy oraz Projektanta.

Dzięki podjętym w porę działaniom i odpowiedniej weryfikacji modelu obliczeniowego, który w pełniejszy sposób odpowiadał technologii wznoszenia, udało się uniknąć poważnych kłopotów związanych z montażem konstrukcji dachu.

Wykaz norm

1. PN-EN 100251-2: 2007. Wyroby walcowane na gorąco ze stali konstrukcyjnych. Część 2. Warunki techniczne dostawy stali konstrukcyjnych niestopowych.
2. PN-H-84020: 1988. Stal niestopowa konstrukcyjna ogólnego przeznaczenia. Gatunki
3. PN-H-84020: 1984. Stal niestopowa konstrukcyjna ogólnego przeznaczenia. Gatunki
4. PN-90/B-03200 Konstrukcje stalowe. Obliczenia statyczne i projektowanie
5. PN-82/B-02000 Obciążenia budowli. Zasady ustalania wartości.
6. PN-80/B-02010 oraz PN-80/B-02010/Az1 Obciążenia w obliczeniach statycznych – Obciążenie śniegiem.
7. PN-77/B-02011 Obciążenia w obliczeniach statycznych – Obciążenie wiatrem.

INCOMPLETE SURVEY OF THE OLD STEEL LATTICE GIRDERS AS A CAUSE OF ASSEMBLY AND CONSTRUCTION PROBLEMS

Abstract: The aim of the study is to present the assembly and construction problems during the implementation of the warehouse for agricultural machinery. Six steel lattice girders of the existing, former commercial building were used for the construction of the roof of the subjected hall. The range was measured for only one girder, assuming that the other used for the construction of this hall have the same dimensions. Incomplete survey turned out to be the cause of deviations and problems appearing during the construction phase of the hall. The method of construction of the subjected object proposed by the contractor, as well as the previous surveying errors of the steel girders has led to the need to change the implementation technology of the hall, from the frame technology to the traditional one. The paper presents in detail the faults associated with the survey of the existing structural elements of the roof used for the construction of this hall. Three different computational models of the implemented hall were presented. The comparative static–strength analysis for the selected two internal columns of all three models was carried out. The results of the maximum values of axial forces and bending moments presented in the table were the basis of the decisions taken.

Keywords: survey, assembly faults, construction faults, static–strength analysis