

Hale namiotowe – płatew z rury cienkościennej, studium przypadku

Dr hab. inż. Ryszard Walentyński, prof. uczelni, mgr inż. Monika Siwek, Politechnika Śląska

1. Wprowadzenie

W dzisiejszych czasach dąży się do budowania szybko, wygodnie i tanio. Przykładem konstrukcji spełniającej te wymagania są hale namiotowe. W celu optymalizacji tego typu obiektów można podejmować próby stosowania profili cienkościennych jako elementów składowych. W artykule zwrócono uwagę na potencjalne wady takiego rozwiązania. Po pierwsze w Polsce nie jest wymagane pozwolenie na budowę w przypadku tymczasowych hal namiotowych, a jako takie są one szczególnie często stosowane [1, 2]. Po drugie pręty cienkościenne są wrażliwe na utratę stateczności. Dodatkowo elementy tego typu hal mogą podlegać niekorzystnym deformacjom z uwagi na wielokrotny montaż i demontaż, nieprofesjonalny transport, złe przechowywanie oraz przeróbki niezgodne z wolą projektanta.

2. Problem hal namiotowych

Popularność hal namiotowych ciągle wzrasta. Jedną z ich zalet jest możliwość sezonowego użycia, dokładnie w takim okresie, w jakim jest to potrzebne, na przykład tylko przez kilka miesięcy. Po tym czasie mogą zostać zdemontowane i przetransportowane w inne miejsce. Jest to rozwiązanie tanie i bardzo wygodne w sytuacji, kiedy potrzebny jest tymczasowy magazyn, warsztat czy dodatkowe miejsce na inwentarz lub zorganizowanie jakiegoś wydarzenia. Producenci prześcigają się pod względem tempa stawiania

konstrukcji. Z reguły nawet w przypadku dużych obiektów jest to kwestia kilku dni, czasem tygodni.

Hale namiotowe stawiane jako konstrukcje tymczasowe nie są trwale związane z gruntem. W takiej sytuacji mogą zostać one postawione na podstawie zgłoszenia bez konieczności starania się o pozwolenie na budowę. W wyniku tego do zaprojektowania obiektu nie są wymagane obliczenia doświadczonego inżyniera budownictwa. Projekt taki może wykonać dowolna osoba posiadająca podstawową wiedzę techniczną. Taka sytuacja może prowadzić do błędów zarówno projektowych, jak i wykonawczych [1, 2].

3. Płatew o profilu rury cienkościennej

W konstrukcjach, w których stosowane są elementy cienkościenne, niezbędna jest analiza pod kątem utraty stateczności zarówno w ujęciu globalnym, jak i każdego elementu z osobna [3, 4]. W niniejszym artykule skupiono się na przeanalizowaniu obciążenia ściany szczytowej, które generuje siły ściskające w podłużnych komponentach dachu. Elementem bazowym jest płatew o długości 3 m ze stali S235 JR. W celu zwrócenia uwagi na wagę uwzględnienia zjawiska wybożenia wyznaczono przekrój płatwi na podstawie prostego sprawdzenia maksymalnych naprężeń ściskających. Dla siły 30 kN jest to skrajnie mała rura okrągła CHS 17,2x3 mm. W literaturze można znaleźć reguły dotyczące maksymalnej smukłości λ w odniesieniu do typu elementu (jako przykład norma rosyjska SP16.13330.2011 [6]). Dla analizowanej płatwi można przyjąć według powyższej normy

Tabela 1. Wyznaczenie przekrojów płatwi – opis w tekście

Lp.	Przekrój		L [m]	λ^a	Siła kryt. Euler [kN] ^b	Siła kryt. Robot [kN] ^c
1	CHS 17,2 x 3	o	3	585	0,81	0,99
2	CHS 48,3 x 3	o		187	25,33	30,80
3	CHS 52,3 x 3	o		173	32,04	38,95
4	SHS 14 x 3	o		645	0,66	0,80
5	SHS 40 x 3	o		202	21,46	26,10
6	SHS 45 x 3	o		177	31,73	38,58
7	PFC 20 x 15 x 3	C		663	0,62	0,03
8	PFC 50 x 50 x 3	C		186	24,83	30,18
9	PFC 80 x 50 x 3	C		188	30,65	37,28

^a max 210 (SP16.13330.2011); ^b min 30 kN, równanie (1); ^c Autodesk Robot Structural Analysis – 3D elementy powierzchniowe

λ_{max} równe 210. Aby spełnić ten warunek, projektowana płatew powinna mieć przekrój CHS 48,3x3mm. Bardziej precyzyjnym sposobem jest wyznaczenie obciążenia krytycznego elementu na podstawie wzoru Eulera [5]:

$$P_{cr} = \frac{\pi^2 E I_{min}}{(KL)^2} \quad (1)$$

gdzie:

P_{cr} – siła krytyczna, E – moduł Younga, I_{min} – minimalny moment bezwładności, KL – długość efektywna elementu, $K = 1$ (węzły obrotowe).

W przypadku przyjętego w poprzednim kroku przekroju CHS 48,3x3 mm wyznaczona w powyższy sposób siła krytyczna wynosi 25,33 kN, co daje mniej niż wymagane 30 kN. Zgodnie ze wzorem (1) na siłę krytyczną Eulera, niezbędny przekrój to CHS 52,3x3 mm.

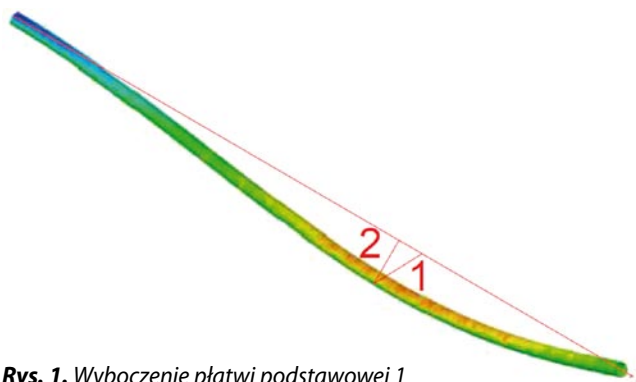
Aby uświadomić, jak ważne jest prawidłowe uwzględnienie zjawiska wyboczenia, w tabeli 1 zaprezentowano analogiczne porównania profili o przekroju rury kwadratowej oraz profili ceowych. Dodatkowo uwzględniono siłę krytyczną wyznaczoną w programie Autodesk Robot Structural Analysis.

4. Wprowadzenie przeróbek płatwi

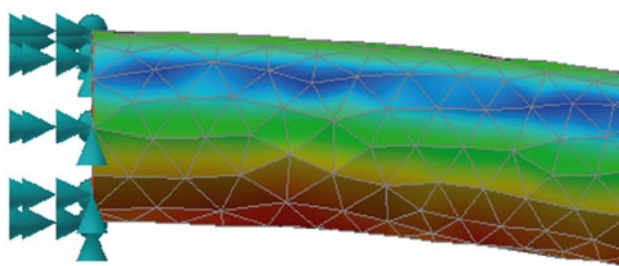
Dalsza część artykułu bazuje na analizie płatwi o przekroju rury okrągłej CHS 52,3x3 mm, długości 3 m, ze stali S235 JR i obciążeniu ściskającą siłą osiową 30 kN. Deformacja wyboczonej płatwi bazowej 1 została przedstawiona na rysunku 1. Testowy model węzła płatwi przedstawiono na rysunku 2. Podparcie zostało przyjęte po obwodzie całego elementu. Na jednym z końców rury węzły podparto, zwalniając jedynie możliwość obrotów, a na drugim końcu dodatkowo umożliwiono ich przesuw wzdłuż osi pręta. Wynikiem tego jest forma odkształcenia charakterystyczna w przypadku węzła sztywnego [3, 5] i wzrost obciążenia krytycznego w porównaniu do wartości przedstawionych w tabeli 1.

Na wykresie (rys. 3) przedstawiono zależność przyrostu przemieszczeń do przyrostu obciążenia płatwi bazowej. Pokazano przemieszczenia wypadkowe (oznaczenie 1 na rysunku 1) oraz tylko w kierunku prostopadłym do osi podłużnej elementu (oznaczenie 2 na rysunku 1). Drugiego z wariantów użyto w przedstawieniu wyników dla kolejnych elementów. Wykres w sposób czytelny obrazuje, w jakim momencie dochodzi do nagłego przyrostu przemieszczeń związanego z wystąpieniem wyboczenia.

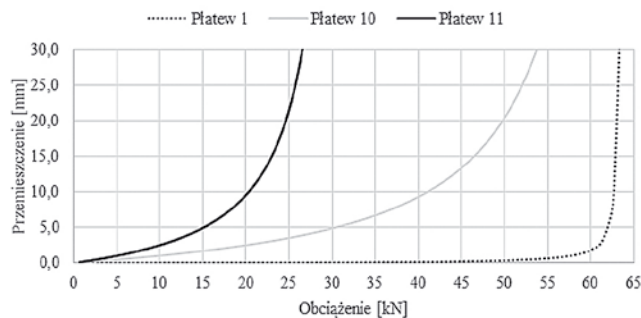
Należy zwrócić uwagę na skutki, na które narażony jest element poddany samowolnym przeróbkom. Pierwsza modyfikacja płatwi polega na zastosowaniu dodatkowych żeberk. Zamodelowano przypadek z dwoma żeberkami w każdym węźle (płatwę 2) oraz z czterema (płatwę 3). Każda blacha żeberka jest w kształcie trójkąta prostokątnego o długości przyprostokątnych 100 mm i grubości 3 mm. Oczekiwano, że poprzez wzmocnienie węzłów nastąpi zmniejszenie długości



Rys. 1. Wyboczenie płatwi podstawowej 1



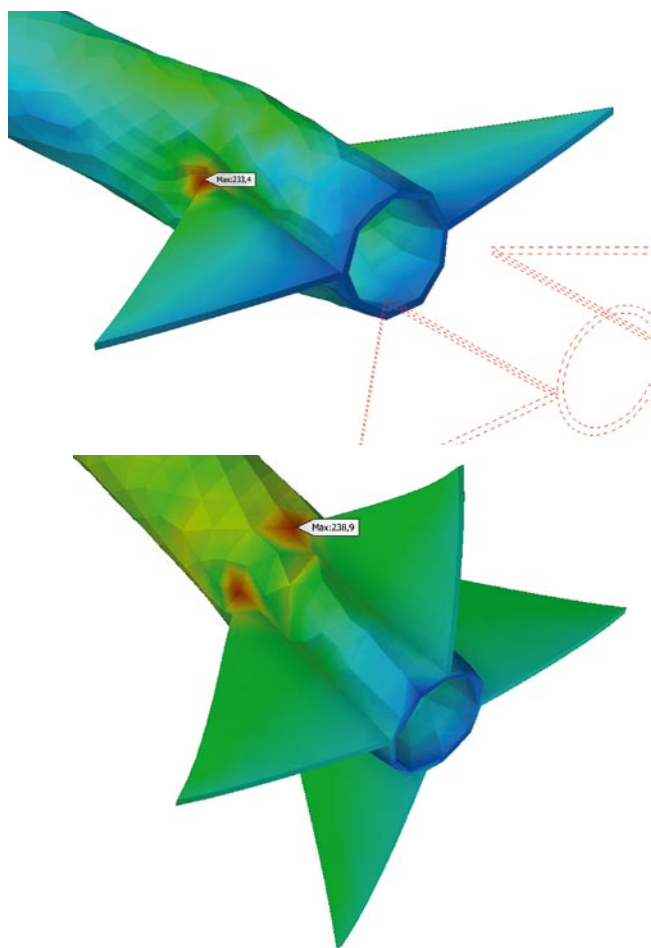
Rys. 2. Konstrukcja węzła płatwi



Rys. 3. Wykres przyrostu przemieszczeń do przyrostu siły – płatew bazowa 1

wyboczeniowej i wzrost siły krytycznej. W efekcie siła ta znacznie zmalała. Jest to wynik mechanizmu zniszczenia poprzez wgniecenie się blachy węzłowej w element cienkościenny oraz zmianę kształtu przekroju poprzecznego w tym rejonie z okręgu w elipsę – w przypadku zastosowania dwóch blach (rys. 4). Drugie przekształcenie elementu polega na wprowadzeniu nacięć w rejonie węzłów. Płatwę 4 to wariant z dwoma nacięciami o szerokości 3 mm i długości 100 mm, a płatwę 5 to wariant z czterema analogicznymi nacięciami (rys. 5). W efekcie uzyskano większe nośności niż w przypadku elementów z zastosowaniem blach w węzłach.

Kolejne opcje to warianty rozwiązania z dwoma nacięciami w węzłach. Wykorzystano nacięcia w węzłach jak w płatwi 4 i wprowadzono perforację wzdłuż dwóch krawędzi. W każdym wariantcie wprowadzono dodatkowo 10 wycięć o szerokości 3 mm i o długościach: płatwę 6 – 100 mm, płatwę 7 – 50 mm, płatwę 8 – 25 mm, płatwę 9 – 10 mm (rys. 6). Dla wszystkich wariantów obraz deformacji jest analogiczny (rys. 7).

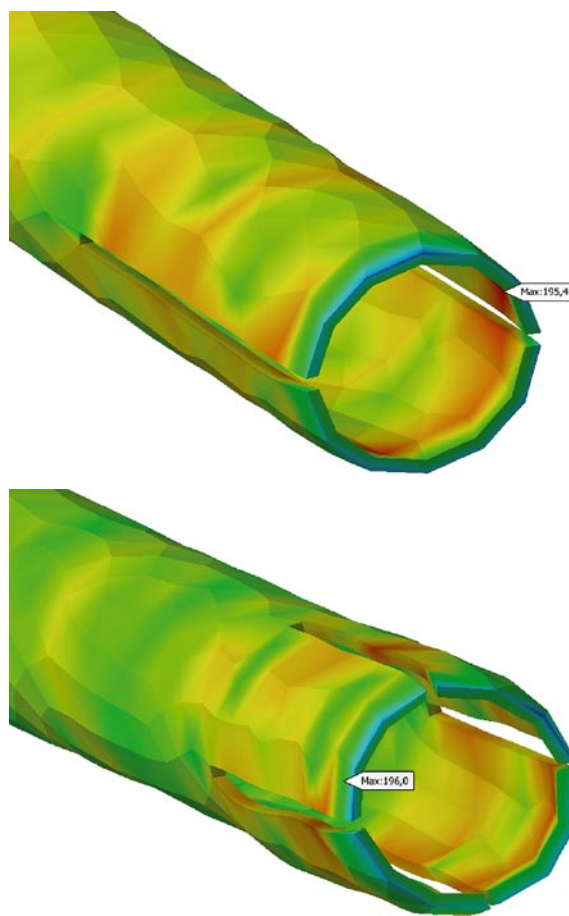


Rys. 4. Deformacja płatwi 2 z dwiema blachami i płatwi 3 z czterema blachami

Co ciekawe, w dalszym ciągu dla tych wariantów uzyskiwano korzystniejsze wyniki niż dla opcji z blachami. Są one do siebie dość zbliżone, jednocześnie bliskie wariantowi z wycięciami wyłącznie w węzłach. Można zauważyć, że w tym przypadku drobniejsza perforacja charakteryzuje się tylko nieznacznym zwiększeniem nośności pręta w stosunku do perforacji z dłuższymi nacięciami (rys. 8).

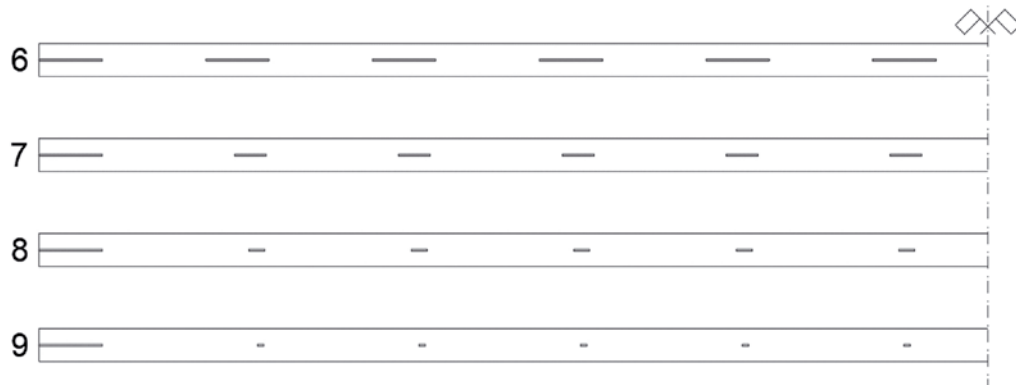
5. Podsumowanie

Podsumowując, elementy cienkościenne nadają się do stosowania w halach namiotowych, jednak ich projektowanie powinno być wykonywane z należytą dokładnością. Dużym zagrożeniem jest fakt, że tego

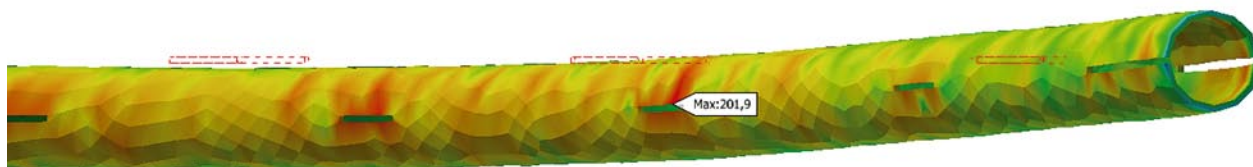


Rys. 5. Odształcenie płatwi z dwoma nacięciami 4, płatwi z czterema nacięciami 5

typu hale stosowane jako obiekty tymczasowe nie wymagają ubiegania się o pozwolenia na budowę. Tym samym mogą być projektowane przez osoby tylko z podstawową wiedzą techniczną. W artykule pokazano, jak duże znaczenie ma uwzględnienie w obliczeniach efektu wyboczenia elementów ściskanych na przykładzie płatwi oraz jakie skutki mają nawet niewielkie modyfikacje takich elementów. Pokazano, że zastosowanie żeberek w węzłach nie skutkowało wzmocnieniem elementu. Ponadto wprowadzenie do elementów perforacji w mniejszym stopniu wpłynęło na spadek wytrzymałości niż wprowadzenie dodatkowych



Rys. 6. Schemat perforacji płatwi 6, 7, 8, 9

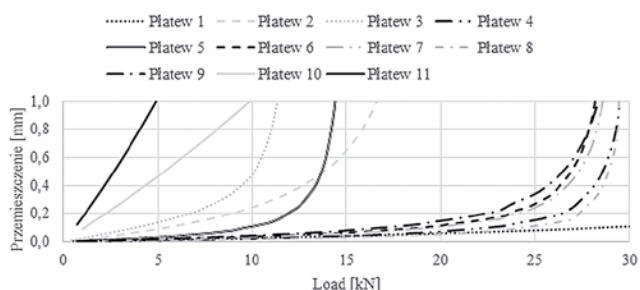


Rys. 7. Deformacja 6 płatew z perforacjami

elementów. Analiza wskazanych modyfikacji wykazuje, jak niekorzystne skutki mogą mieć wypunktowane we wstępie ryzyka związane z uszkodzeniami elementów powstałych w wyniku wielokrotnego montażu i demontażu, wystąpienia korozji, nieprofesjonalnego transportu, złego przechowywania czy przeróbek niezgodnych z wolą projektanta. Należy zauważyć, że powyższe rozważania, pomimo mocno osadzonego w praktyce tła, są wyłącznie teoretyczne, ze względu na uwzględnienie wyłącznie obciążenia od parcia wiatru na ścianę szczytową hali. Z punktu widzenia projektowania w zagadnieniu niezbędne jest uwzględnienie efektów zginania wynikających z parcia wiatru na połąc dachu i ciężaru własnego.

BIBLIOGRAFIA

[1] Chruściel W., Kuczyński K., Bieżpieczeństwo użytkowania obiektów tymczasowych na przykładzie hali namiotowej, *Awarie budowlane*, 2015, str. 185–194



Rys. 8. Wykres przyrostu przemieszczeń do przyrostu siły – zestawienie

[2] Rawska-Skotniczy A., Marynowicz A., Nalepka M., *Błędy przy projektowaniu stałych i tymczasowych hal namiotowych*, *Awarie budowlane*, 2017, str. 455–466

[3] Bródka J., Łubiński M., *Lekkie konstrukcje stalowe*, Wydawnictwo Arkady, Warszawa, 1971

[4] Brzoska Z., *Statyka i stateczność konstrukcji*, Wydawnictwo Naukowe PWN, Warszawa, 1965

[5] Russian code SP 16.13330.2011 *Steel Structures*, The Updated Edition of Construction Rules SNIP II-23-81, 2011, Moscow

XXI KONFERENCJA NAUKOWO-TECHNICZNA

KONTRA' 2020

TRWAŁOŚĆ BUDOWLI I OCHRONA PRZED KOROZJĄ

Warszawa-Cedzyna 27-29 maja 2020 r.



TEMATYKA KONFERENCJI

- odporność materiałów budowlanych na działanie agresywnych czynników zewnętrznych,
- trwałość i ochrona przed korozją konstrukcji żelbetowych, stalowych, drewnianych i murowych,
- trwałość nawierzchni drogowych i mostów,
- modelowanie procesów degradacji materiału i konstrukcji, badania laboratoryjne,
- metody diagnostyki korozyjnej konstrukcji,
- wyroby antykorozyjne, systemy naprawcze, technologie prac antykorozyjnych i metody napraw,
- inne, związane z trwałością materiałów i konstrukcji.

WAŻNE DATY – UWAGA: PRZEDŁUŻONY TERMIN ZGŁASZANIA UCZESTNICTWA!

30.04.2020 r. – Przesłanie uczestnikom Komunikatu nr 2 z programem konferencji oraz informacji o akceptacji referatów

ORGANIZATOR:

Komitet Trwałości Budowli Zarządu Głównego Polskiego Związku Inżynierów i Techników Budownictwa

WSPÓLORGANIZATOR:

Wydział Inżynierii Lądowej Politechniki Warszawskiej

KONTAKT:

e-mail: kontra@il.pw.edu.pl, www.kontra.il.pw.edu.pl



Wydział Inżynierii Lądowej

POLITECHNIKA WARSZAWSKA

