

OBLICZENIA NUMERYCZNE W OCENIE DACHÓW ŁUKOWYCH

Streszczenie

System ABM służy do wykonywania samonośnych łukowych przykryć budynków użyteczności publicznej. Technologia produkcji powoduje powstawanie skomplikowanej geometrii profilu, w którym na ściankach środka powstają głębokie przetłoczenia i falowania. Takie ukształtowanie geometrii profilu znacznie utrudnia projektowanie z wykorzystaniem dokumentów normatywnych. Brak odpowiednich metod obliczeń prowadzi do błędów projektowych i w konsekwencji do awarii budowlanych zadaszeń. W artykule przedstawiono metodykę określania nośności profilu ABM z wykorzystaniem numerycznych metod obliczeniowych wspomaganych badaniami laboratoryjnymi

WSTĘP

Samonośne przykrycia łukowe pierwotnie pełniły funkcje obiektów tymczasowych do zastosowań wojskowych i rolniczych w krajach południowych i zachodnich z ograniczonym wpływem zimowych warunków środowiskowych. Obecnie przykrycia tego typu znajdują coraz szersze zastosowanie do budowy obiektów użyteczności publicznej w krajach środkowej i wschodniej Europy. Technologia budowy samonośnych przekryć łukowych w systemie ABM (Automatic Buildings Machine) powstała w USA w latach siedemdziesiątych. Samonośne przekrycia łukowe wykonywane są na miejscu wbudowania przez mobilne walcarki - fot. 2a), które formują metodą walcowania na zimno z jednego arkusza blachy (o grubości od 0,7 do 1,5mm) zakrzywione pojedyncze segmenty. Technologia formowania łuku w systemie ABM nadaje segmentowi charakterystyczny kształt z falowanymi środnikami i półką dolną (fot. 2b). Pojedyncze segmenty łączone są ze sobą przez zagniatanie wolnych krawędzi półek. W technologii tej wykonywane są łukowe przykrycia dachowe o rozpiętości od 6m do 30m i różnej wyniosłości. Przykładowy obiekt z zadaszeniem wykonanym w technologii ABM przedstawia fot. 1



Fot. 1. Wiata z przykryciem w technologii systemu ABM [7]

1. PROBLEMY PROJEKTOWANIA

Zadaszenia wykonywane są jako łuki kołowe dwuprzegubowe. Podstawowe obciążenia oddziałujące na zadaszenia to ciężar własny, obciążenia technologiczne oraz obciążenia środowiskowe (wiatr [1], śnieg [2]). Obciążenia te powodują powstawanie w konstrukcji sił wewnętrznych, tj. sił ściskających, ścinających i momentów zginających. Elementem nośnym w tym systemie jest profil cienkościenny o smukłych ściankach. Do projektowania elementów nośnych z cienkościennych blach stalowych wykorzystywane są normy PN-EN 1993-1-3 [3] oraz PN-B-03207: 2002 [4]. W dokumentach tych przedstawione są ogólne zasady postępowania wyznaczania nośności i stateczności, jednak nie dotyczą one elementów łukowych z karbowaną powierzchnią środkową. W związku z ograniczonym zakresem norm przedmiotowych występują niedogodności związane z interpretacją zagadnień projektowych. Wysokość karbowania i zakrzywienia powierzchni środkowej przekroju może być różna w zależności od promienia gięcia. Ukształtowanie geometrii przekroju ma bezpośredni wpływ na nośność i stateczność konstrukcji. Określenie nośności profilu o skomplikowanym przekroju może być zrealizowane na podstawie badań wspomaganych numerycznymi metodami obliczeniowymi. Symulacja numeryczna pozwala na skrócenie procesu projektowania wyrobu i sprawne dostosowanie do zmiennych warunków brzegowych. W dalszej części artykułu zostanie przedstawiony proces kalibracji modelu numerycznego z wynikami badań na przykładzie wycinka profilu.

Badania i obliczenia realizowane są w Instytucie Techniki Budowlanej we współpracy z Politechniką Warszawską i przemysłem w ramach Programu Badań Stosowanych finansowanego przez Narodowe Centrum Badań i Rozwoju.



a) Walcarka mobilna ABM [7]

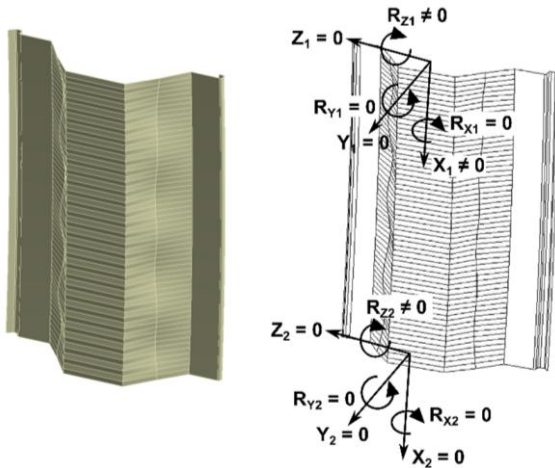


b) wygląd profilu po montażu

Fot. 2. Walcarka mobilna ABM

2. OBLICZENIOWA KALIBRACJA MODELU

Kalibrację modelu numerycznego wykonano przez porównanie wyników obliczeń z wynikami badań. Poszukiwanie odpowiedniego modelu numerycznego polegało na budowie geometrii elementu i wyznaczeniu modelu materiału. Modele numeryczne wykonywane są w programie Ansys. Do porównania przyjęto model wycinka blachy długości 1,0m o promieni gięcia 18,0m z blachy stalowej S320 i nominalnej grubości rdzenia 1,40mm. Model zawiera karbowania powierzchni i również falowanie półek (rys 1.)



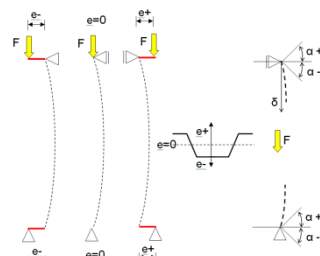
Rys. 1. Model numeryczny i warunki podparcia [5]

Warunki podparcia modelu przedstawiono na rys 1. Górne i dolne krawędzie modelu utwierdzone są na zestawie podpór przegubowych. Dolna podpora ma możliwość obrotu wokół osi Z₂, pozostałe stopnie swobody są zablokowane. Górna podpora ma możliwość obrotu wokół osi Z₁ i przemieszczenia wzdłuż osi X₁, pozostałe stopnie swobody są zablokowane. Do obliczeń przyjęto sprężysto – plastyczny model stali. Badania wycinka profilu wykonano na prototypowym stanowisku (fot. 3), które umożliwia osiowe i mimośrodkowe ściskanie próbki według schematu przedstawionego na rys. 2. Linia przerywana na rys. 2 oznacza oś podłużną elementu. Mimośrodowo mogą mieć wartość dodatnią lub ujemną, co odwzorowuje odpowiednio ściskanie górnej lub dolnej półki przekroju. Element badawczy podparty jest przegubowo, co zapewnia swobodny obrót na podporach. Obciążenie realizowano za pośrednictwem siłowników hydraulicznych, pomiar siły wykonano siłomierzem

sprężonym z układem pomiarowym przemieszczeń. Pomiar przemieszczeń w funkcji siły realizowano w sposób ciągły aż do momentu uszkodzenia próbki. Do pomiaru przemieszczeń zastosowano optyczną metodę Cyfrowej Korelacji Obrazu (CKO) [6]. Metoda (CKO) umożliwia pomiar oraz monitorowanie przemieszczeń i odkształceń obserwowanego obiektu w całym polu widzenia w dwóch lub trzech wymiarach. Metoda charakteryzuje się pomiarem bezstykowym, skalowalnością czułości i skalowalnością wymiarów pola pomiarowego. W badaniach fragmentów blach, stochastyczna struktura plamkowa nakładana jest na całą powierzchnię profilu. Pomiary wykonywane są dwoma kamerami w układzie odniesienia niezwiązanym z uchwytami. Pomiary przemieszczeń i odkształceń w funkcji obciążenia wykonywane są w dwóch kierunkach w płaszczyźnie środnika i półek profilu (X, Y) oraz w kierunku normalnym do tych płaszczyzn (Z)

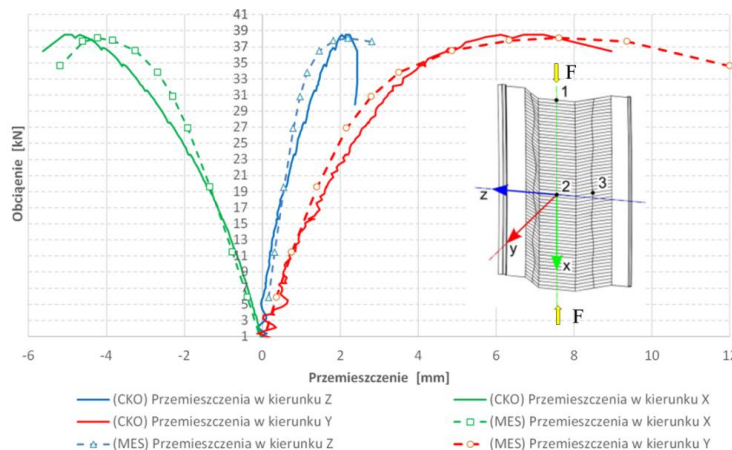


Fot. 3. Widok stanowiska badawczego [5]



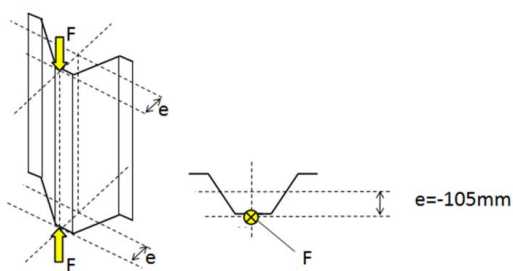
Rys. 2. Stanowisko do badań profilowanej blachy Stanowisko do badań profilowanej blachy

Mimośród działania siły przyjęty do obliczeń wynosi 105mm i odpowiada on położeniu siły w odległości 15mm od środnika profilu (rys. 3).



Wykres 1.

Wykres 1. Porównanie wyników badań i obliczeń.



Rys. 3. Schemat obciążenia

Porównanie wyników badań i obliczeń przedstawiono na wykresie 1. Przeszaczenia odczytywano dla punktów referencyjnych odpowiednio: u_x – przeszaczenie pionowe w osi elementu, u_y – przeszaczenie z osi elementu w punkcie 2, u_z – przeszaczenie z osi elementu w punkcie 3. W tabelicy 1 zestawiono porównanie wyników badań (CKO) i obliczeń (MES). Tabela zawiera maksymalną siłę przed uszkodzeniem próbki oraz odpowiadające jej przeszaczenia punktów referencyjnych.

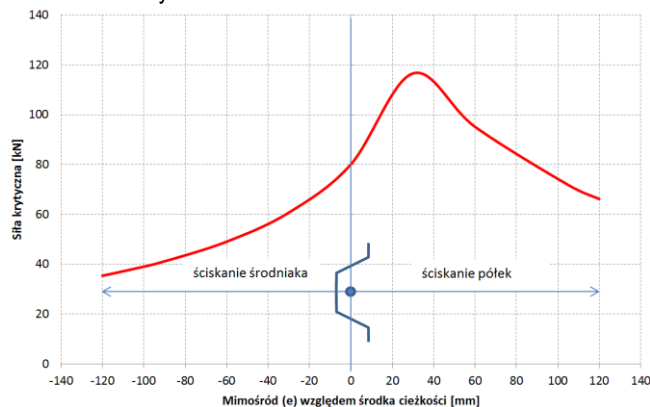
Tablica. 1. Zestawienie wyników badań i obliczeń [5]

	Maksymalne obciążenie	Przeszaczenia przy maksymalnym obciążeniu		
	F_m [kN]	u_x [mm] punkt 1	u_y [mm] punkt 2	u_z [mm] punkt 3
Badania (CKO)	38,5	-4,69	7,23	2,24
Obliczenia (MES)	38,1	-4,21	7,61	2,20

W tabelicy 2 przedstawiono graficzną prezentację wyników badań i obliczeń w postaci mapy szczytowej wartości obciążenia 38,5kN. Mapy zestawiono parami dla odpowiedniego kierunku przeszaczenia. Mapa CKO prezentuje wynik badania, mapa MES wynik obliczeń numerycznych. Błąd modelu MES w porównaniu do wyników obliczeń wynosi odpowiednio: 1% dla maksymalnej siły oraz od 2% do 10% dla przeszaczenia dla szczytowej wartości obciążenia. Dodatkowo należy zwrócić uwagę, że ścieżki przeszaczenia uzyskane na podstawie obliczeń w porównaniu do badań w funkcji obciążenia zestawione na wykresie 1 mają bardzo zbliżony charakter. Na podstawie porównania wyników obliczeń i badań stwierdzono, że model numeryczny jest poprawny i nadaje się do stosowania w dalszych obliczeniach. Podobną analizę wykonano dla ściskania osiowego i mimośrodowo dodatniego. Wynik porównania był porównywalny z prezentowanym powyżej.

PODSUMOWANIE

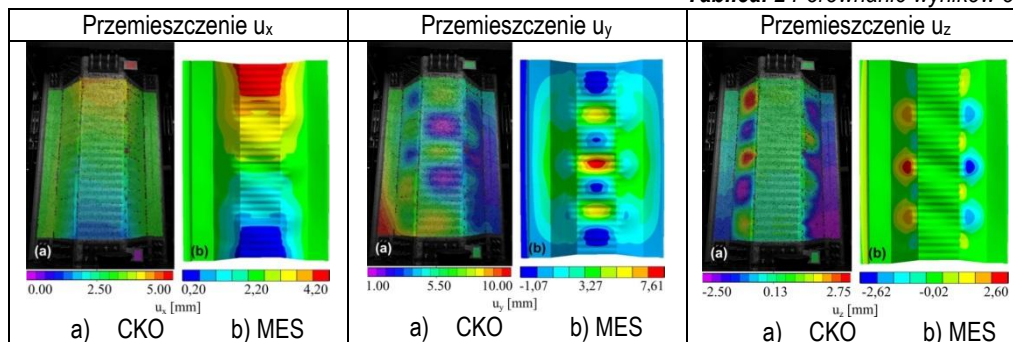
Dalsze prace badawcze zostały zrealizowane wyłącznie na podstawie obliczeń z wykorzystaniem skalibrowanego modelu MES. Celem obliczeń było wyznaczenie maksymalnych obciążeń przy ścisnaniu dla 12 różnych mimośrodków. Sześć wartości mimośrodu ujemnego (ścisnienie środniaka), sześć dodatniego (ścisnienie półek) oraz ścisnienie osiowe (wartość 0). Na podstawie obliczeń wyznaczono obciążenia krytyczne dla profilu o promieniu gięcia 18 m i z blachy gatunku S320 o grubości rdzenia 1,40mm. Wyniki obliczeń zestawiono na wykresie 2.



Wykres 2. Obwiednia siły krytycznej.

Na wykresie 2 przedstawiono obwiednię siły krytycznej w zależności od mimośrodu działania siły ścisniającej w przekroju profilu. Wykres nie zawiera wyników związanych ze zginaniem bez udziału siły ścisniającej. Szczegółowe dane znajdują się w Instytucie Techniki Budowlanej. W dalszej kolejności planowane są badania profili o różnych promieniach gięcia, grubości i gatunku stali. Wyniki obliczeń zilustrowane na wykresie 2 dotyczą wyłącznie nośności przekroju pojedynczego profilu o odpowiednich parametrach kształtowania, gatunku stali oraz grubości rdzenia. Siły krytyczne dotyczą nośności profilu z uwzględnieniem przetłoczeń powierzchni bocznych wynikających z technologii produkcji. Przy dalszym projektowaniu zadaszeń z wykorzystaniem samonośnych blach profilowanych systemu ABM należy wziąć pod uwagę momenty zginające wywołane oddziaływaniem obciążeń oraz wyboeczenie całej konstrukcji. Projektowanie z wykorzystaniem wyników prac badawczych określających nośność profilu karbowanego znacznie ułatwia prawidłową identyfikację nośności samonośnych konstrukcji z blach profilowanych.

Tablica. 2 Porównanie wyników obliczeń i badań [5]



BIBLIOGRAFIA

1. PN-EN 1991-1-4 Oddziaływania na konstrukcję. Część 1-4. Oddziaływania ogólne. Obciążenie wiatrem.
2. PN-EN 1991-1-3 Oddziaływania na konstrukcję. Część 1-3. Oddziaływania ogólne. Obciążenie śniegiem.
3. PN-EN 1993-1-3. Projektowanie konstrukcji stalowych. Część 1-3. Reguły ogólne. Reguły uzupełniające dla konstrukcji z kształtowników i blach profilowanych na zimno.
4. PN-B-03207:2002. Konstrukcje stalowe z kształtowników i blach profilowanych na zimno. Projektowanie i wykonanie
5. A. Piekarczuk, K. Małowany, P. Więch "Stability and bearing capacity of arch-shaped corrugated shell elements: experimental and numerical study". Bulletin of the Polish Academy of Sciences. Technical Sciences. 2015 | Vol. 63, nr 1 | 113–123
6. M. Malesa and M. Kujawińska, "Deformation measurements by digital image correlation with automatic merging of data distributed in time", Applied Optics 52 (19), 4681-4692 (2013).
7. www.węglopol.eu

NUMERICAL CALCULATIONS IN ASSESSING OF ARCH ROOFS

Abstract

The ABM is a system of erection of self-supporting arched roof structures. During the production process the profile of complex shape is created, with deep corrugation and wave like distortions to the shape of its walls. This kind of profile cross-section geometry makes calculations methods given in appropriate standards inadequate for their purpose. The lack of sufficient methods of analysis leads to erroneous estimation of load carrying capacity of considered roof structures and as a result to their failures. In the paper the design approach based on numerical and experimental results is presented

Autor:

dr inż. **Artur Piekarczuk**, Instytut Techniki Budowlanej,
e-mail; a.piekarczuk@itb.pl