

# XVI Konferencja Naukowo-Techniczna

# TKI2022

## TECHNIKI KOMPUTEROWE W INŻYNIERII

18–21 października 2022

### Analiza numeryczna przypadku zniszczenia konstrukcji namiotu wojskowego pod wpływem oddziaływania huraganu

Krzysztof Kosiuczenko<sup>1</sup>

<sup>1</sup>Wojskowy Instytut Techniki Panczernej i Samochodowej  
email: Krzysztof.kosiuczenko@witpis.eu

**STRESZCZENIE:** Przedmiotem pracy była analiza przypadku katastroficznego zniszczenia wielkopowierzchniowego namiotu wojskowego pod wpływem działania huraganu. W wyniku dokonanej analizy numerycznej zidentyfikowano poziom obciążenia niszczącego oraz odtworzono przebieg niszczenia konstrukcji namiotu. Dodatkowym, użytecznym rezultatem pracy było sformułowanie rekomendacji dotyczących sposobów poprawy wytrzymałości nowoprojektowanych namiotów. Obliczenia wykonano metodą elementów skończonych w programie obliczeniowym LS Dyna oraz Femap.

**SŁOWA KLUCZOWE:** huragan, metoda elementów skończonych, namiot

#### 1. Wytoczne ogólne

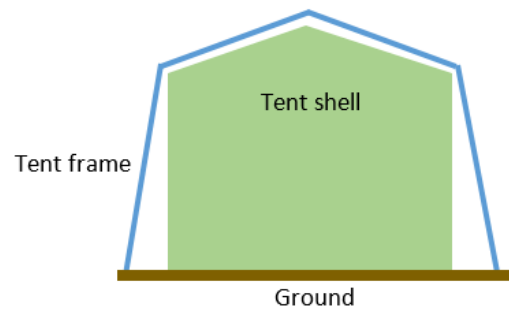
Pojęcie niszczenia katastroficznego odnosi się do całkowitej, nagłej i często nieoczekiwanej awarii konstrukcji, której skutkiem są nieodwracalne zmiany jej głównych cech użytkowych. Problematyka powstawania takich katastrof jest szczególnie analizowana w zagadnieniach budowlanych, w tym m.in. podczas projektowania wielkopowierzchniowych hal namiotowych. Podczas projektowania takich namiotów dokonuje się analizy ryzyka zaistnienia niszczenia katastroficznego, gdzie bardzo ważne miejsce zajmuje genezowanie, które jest jedną z głównych gałęzi diagnostyki. Efektem genezowania jest wypracowanie genezy niepożądanych i historycznych zdarzeń eksploatacyjnych, która powinna zawierać odpowiedź na dwa kluczowe pytania, jak i dlaczego doszło do zdarzenia?

Rozwój nowoczesnych metod symulacyjnych umożliwia szczegółową weryfikację przyjętych hipotez, a w dalszym etapie również symulację przebiegu zdarzenia i szczegółowy opis przyczyn zaistniałego zdarzenia.

Głównym celem autora niniejszej pracy było ustalenie przyczyn i przebiegu katastroficznego zniszczenia namiotu wojskowego, spowodowanego oddziaływaniem huraganu. Przypadek ten był o tyle m.in. interesujący, że konstrukcja namiotu została tak zaprojektowana, by spełniała wysokie wymagania środowiskowe i powinna być odporna na skrajne warunki atmosferyczne.

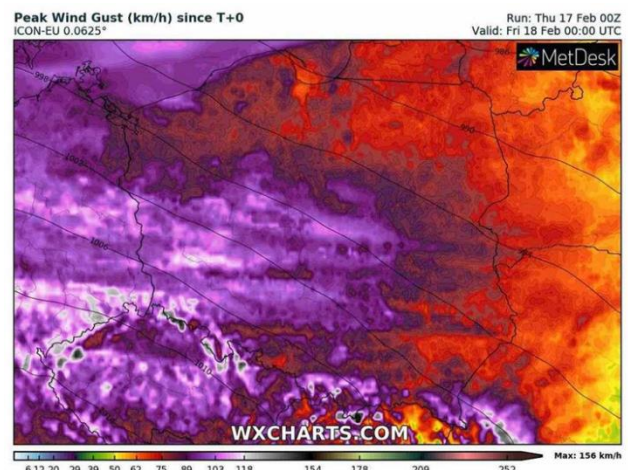
#### 2. Obiekt analizy

Obiektem analizy był wielkopowierzchniowy namiot wojskowy o gabarytach 6,8 x 13 x 4,5 m (szerokość x długość x wysokość), zwany dalej namiotem. Konstrukcja namiotu składała się m.in. z czaszy oraz zewnętrznego stelaża. Schemat konstrukcji namiotu przedstawiono na rys.1.



Rys. 1. Schemat konstrukcji analizowanego namiotu

Zniszczenie namiotu nastąpiło w dniach 17-18.02.2022 na skutek działania huraganu o nazwie Eunice. Wcześniejsze prognozy pogody przewidywały, że prędkość wiatru może przekroczyć 120 km/h (rys. 2). W rzeczywistości osiągnęła ona prędkość około 100 km/h.



Rys. 2. Mapa prognozowanej prędkości wiatru w Polsce opracowana przy wykorzystaniu modelu ICON-EU

W wyniku działania huraganu, doszło do katastroficznej destrukcji namiotu (rys. 3).



Rys. 3. Destrukcja namiotu spowodowana długotrwałym działaniem huraganu

### 3. Obliczenia wytrzymałościowe

Podczas projektowania namiotu do oszacowania obciążenia konstrukcji wiatrem, stosuje się znane z fizyki zależności pomiędzy prędkością wiatru, a jego ciśnieniem (1):

$$p = \frac{1}{2} \cdot \rho \cdot v \quad (1)$$

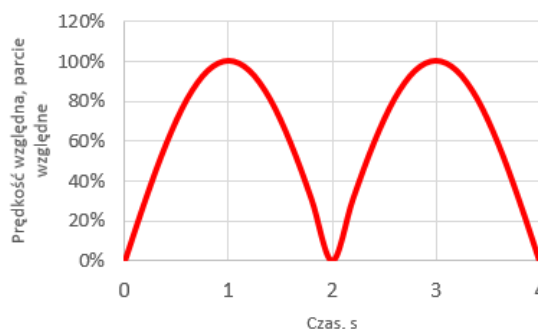
gdzie:  $\rho$  – gęstość powietrza, około 1.25 [kg/m<sup>3</sup>],  $v$  – prędkość wiatru [m/s],  $p$  – ciśnienie wiatru.

Zastosowanie powyższego wzoru prowadzić może jednak do niepotrzebnego zawyżenia projektowanej wytrzymałości konstrukcji. Dlatego, zgodnie z istniejącą praktyką, autor użył bardziej dokładnej procedury obliczeniowej, opisanej w normie PN-EN 1991-1-4. Uwzględnia ona we wzorach dodatkowe i istotne czynniki, wpływające na wartość rzeczywistego ciśnienia wiatru, takie jak: strefa geograficzna, kategoria terenu, wysokość nad poziomem gruntu oraz wysokość nad poziomem morza.

### 4. Modelowanie numeryczne

Modelowanie przeprowadzono w dwóch etapach. W pierwszym etapie wykonano wstępny model numeryczny namiotu metodą elementów skończonych, który analizowano w zakresie statyki nieliniowej (implicite). Do tego celu zastosowano program Simcenter Femap 2022.1.1.40. Symulacja oparta była na założeniu wolnego narastania parcia wiatru, a zastosowane modele materiałowe nie uwzględniały wpływu prędkości odkształceń na wartość naprężeń. Tak przeprowadzona symulacja nie pozwoliła zidentyfikować przyczyn i przebiegu niszczenia katastroficznego namiotu.

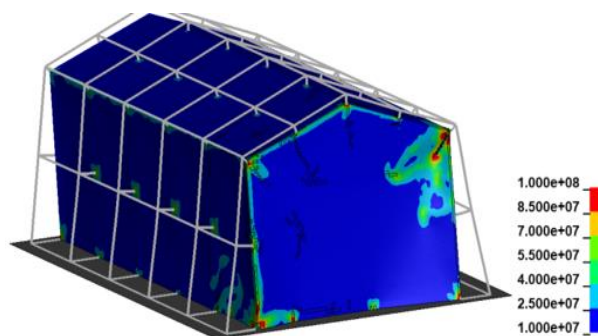
W drugim etapie modelowania wykonano dodatkowe obliczenia, przy wykorzystaniu bardziej zaawansowanego aparatu obliczeniowego. Tym razem model sporządzono zgodnie z wymaganiami programu LS Dyna firmy LSTC, przy pomocy kart sterujących programu LS-PrePost. Wykorzystanie LS Dyna pozwoliło uwzględnić w analizie szybkozmienność zjawisk mechanicznych. Ten rodzaj analizy (Explicit) pozwolił uwzględnić wysoką nieliniowość obciążenia (rys. 4) i właściwości materiałowych.



Rys. 4. Przyjęty do dalszych obliczeń model przebiegu czasowego prędkości i parcia wiatru (wartości względne  $v/v_{max}$ ,  $p/p_{max}$ )

### 5. Wyniki obliczeń

W rezultacie obliczeń numerycznych otrzymano m.in. mapy naprężeń zredukowanych, wygenerowane dla kolejnych chwil czasowych (rys. 5), które wykorzystano w analizie przebiegu deformacji i niszczenia namiotu.



Rys. 5. Początek rozrywania czaszy namiotu ( $t = 2,5$  s) [MPa]

### 6. Podsumowanie

Cel pracy, którym było ustalenie przyczyn i przebiegu katastroficznego zniszczenia namiotu został osiągnięty. Jednocześnie uzyskano dobrą zgodność pomiędzy rzeczywistymi obserwacjami, a zachowaniem się modelu. Wykazano, m.in., że:

- 1) w projektowaniu namiotów niezbędne jest wykorzystanie bardziej zaawansowanych programów obliczeniowych np. LS-Dyna,
- 2) projektowanie powinno uwzględniać możliwość powstania gwałtownych zjawisk atmosferycznych zachodzących w przewidywanym miejscu rozstawienia namiotu (np. huraganów),
- 3) najsłabszym ogniwem konstrukcyjnym namiotu jest jego czasza oraz połączenia czaszy ze stelażem.

### Literatura

- [1] Lewitowicz, J., Genesis of exploitation events (in Polish). Diagnostyka'3 (39), 2006.
- [2] EN 1991-1-4 (2005) (English): Eurocode 1: Actions on structures - Part 1-4: General actions - Wind actions, Authority: The European Union Per Regulation 305/2011, Directive 98/34/EC, Directive 2004/18/EC. 2004.
- [3] Femap Getting Started ver.11.1, Siemens PLM, 2013 [viewed 2022-05-22]. Available from: <https://www.studocu.com/row/document/air-university/digital-logic-design/getting-started-femap/4276048>.
- [4] LS-Dyna Manual vol. II R.13.0. Livermore Software Technology Corporation (LSTC), 2021.
- [5] LS-Dyna Manual vol. I R.13.0. Livermore Software Technology Corporation (LSTC), 2021.