

# XVII Konferencja Naukowo-Techniczna

# TKI2024

## TECHNIKI KOMPUTEROWE W INŻYNIERII

15–18 października 2024

### Szybkie projektowania konstrukcji systemu UMKW

Grzegorz Wandzik<sup>1</sup>, Grzegorz Kowalczyk<sup>2</sup>, Kamil Włodarczyk<sup>2</sup>

<sup>1</sup>Katedra Inżynierii Budowlanej, Politechnika Śląska

<sup>2</sup>Arinet sp. z o.o., Gliwice

email: [grzegorz.wandzik@polsl.pl](mailto:grzegorz.wandzik@polsl.pl), [g.kowalczyk@arinet.com.pl](mailto:g.kowalczyk@arinet.com.pl), [k.wlodarczyk@arinet.com.pl](mailto:k.wlodarczyk@arinet.com.pl)

**STRESZCZENIE:** Szybkie projektowanie konstrukcji wsporczych linii energetycznych i bramek w stacjach rozdzielczych jest jednym z warunków odtworzenia infrastruktury energetycznej w sytuacjach awaryjnych. Przedmiotem referatu jest rozwijany przez firmę Arinet system UMKW (Uniwersalne Modułowe Konstrukcje Wsporcze), będący kompleksowym rozwiązaniem umożliwiającym budowę konstrukcji tymczasowych opracowany m.in. w oparciu o wyniki przeprowadzonych badań przemysłowych, w tym analiz porównawczych modeli teoretycznych i danych pomiarowych z badań poligonowych. Tworzenie systemu polega nie tylko na wstępnym zaprojektowaniu gotowych elementów modułowych i rozpoznaniu możliwości konstruowaniu z ich wykorzystaniem masztów lub ram o konstrukcji kratowej, ale także na zapewnieniu szybkiego projektowania tych konstrukcji. Jednym z działań jest stworzenie oprogramowania dostosowanego do specyfiki zagadnienia. Ta specyfika wynika z funkcji pełnionych przez te konstrukcje, sposobu ich kształtowania oraz charakteru oddziaływań. Tworzenie oprogramowania do projektowania konstrukcji systemu UMKW polega na minimalizacji działań projektanta niezbędnych do doboru konstrukcji spełniających wymagania norm do projektowania konstrukcji energetycznych.

**SŁOWA KLUCZOWE:** modułowe konstrukcje wsporcze, linie energetyczne, stacje rozdzielcze, wspomaganie projektowania konstrukcji.

#### 1. Wprowadzenie

Zaopatrzenie w energię elektryczną klasyfikowane jest przez Rządowe Centrum Bezpieczeństwa jako priorytetowy element Systemu Infrastruktury Krytycznej. W skład systemu infrastruktury krytycznej wchodzi stacje rozdzielcze, przesyłowe linie elektroenergetyczne oraz niektóre linie dystrybucyjne. Nie tylko ich nieprzerwane funkcjonowanie, ale także możliwość ich odtworzenia w możliwie krótkim czasie decydują o niezawodności takiego systemu.

Podstawowymi elementami systemu zaopatrzenia w energię są różnego typu konstrukcje budowlane, takie jak: bramki rozdzielcze (zlokalizowane przy elektrowniach) oraz słupy elektroenergetyczne. Różnorodność bramek oraz słupów sprawia, że nie realnej możliwości dysponowania identycznymi konstrukcjami, które mogłyby zostać użyte w zastępstwie na zasadzie bezpośredniej podmiany. Alternatywą są systemy określane mianem ERS (*Emergency Restoration System*), których cechami muszą być: uniwersalność i możliwość szybkiego użycia.

W ramach projektu sfinansowanego przez NCBiR rozwijany jest w firmie Arinet system UMKW (*Uniwersalne Modułowe Konstrukcje Wsporcze*) [1], którego koncepcja spełnia ogólne wymagania stawiane systemom ERS.

#### 2. Elementy systemu UMKW

System UMKW składa się z kilku typowych modułów w postaci 3 stalowych, prefabrykowanych przestrzennych układów kratowych o przekroju 0,5 x 0,5 metra i długości 1M, 3M lub 6M, gdzie M jest wymiarem modułarnym

wynoszącym 0,5 metra. Moduł 1M służy do łączenia odcinków konstrukcji (np. słupa z ryglem).



Rys. 1. Widok ramy systemu UMKW

Oprócz podstawowych elementów modułowych w skład systemu wchodzi: podstawa z przegubem kulistym, elementy łącznikowe (wzmocnienie połączenia modułów, elementy do mocowania odciągów linowych, elementy do mocowania izolatorów). Wielkość i kształt elementów łączących dostosowane są do wielkości przenoszonych przez nie sił.

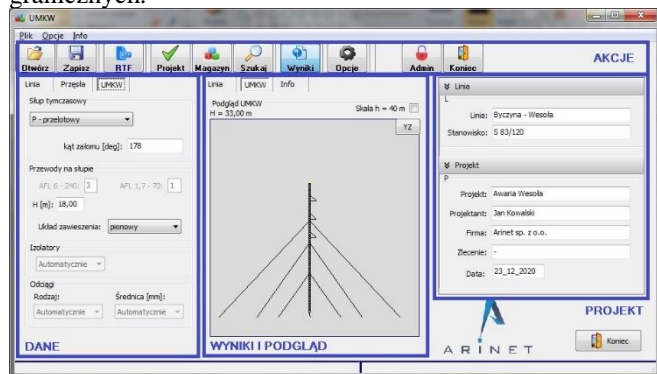
Wszystkie elementy łączące, ze względu na złożony kształt, zostały wstępnie zaprojektowane w systemie FEMAP [2]. W tym celu zamodelowano je z wykorzystaniem metody elementów skończonych, a ich

nośność określono na drodze analiz nieliniowych z wykorzystaniem sprężysto-plastycznego modelu stali. W systemie oprogramowania UMKW kontrolowana jest wielkość siły przekazywana przez łącznik i na tej podstawie oceniana jest możliwość zastosowania danego typu łącznika.

### 3. Zastosowane techniki komputerowe

Wymienione w poprzednim punkcie elementy stanowią fizyczną część systemu UMKW. Niemniej ważną częścią jest oprogramowanie umożliwiające szybkie projektowanie. Sens stosowania takiego oprogramowania wynika z konieczności jak najszybszego zamodelowania konstrukcji, wykonania obliczeń statycznych i wytrzymałościowych, przygotowania dokumentacji rysunkowej oraz kompletacji wszystkich elementów, które muszą zostać dostarczone na plac budowy.

Aktualnie istnieją dwa warianty oprogramowania. Pierwszy z nich może być używany w doborze konstrukcji wsporczych linii przesyłowych o napięciu 110 kV. Jego koncepcja polega na bezpośrednim przyjęciu jednego z około 300 wstępnie przeliczonych układów. Różnią się one: funkcją słupa (przelotowy, odporowo-narozny, krańcowy), układem i wysokością zawieszenia przewodów, rozpiętością przęseł przylegających do słupa, kątem załomu trasy na słupie, danymi klimatycznymi, poziomem obostrzenia, układem i lokalizacją odciągów. Każdy ze wstępnie przeliczonych układów stanowi pojedynczy wpis w bazie danych. Zadaniem oprogramowania jest wybór układu dla danych wprowadzonych przez projektanta. Aplikacja przegląda wpisy w bazie danych, wskazując układ w największym stopniu zbliżony do wprowadzonych danych równocześnie spełniający wymagania w zakresie stanów granicznych.



Rys. 2. Interfejs programu UMKW (koncepcja nr 1)

Drugi wariant oprogramowania jest z założenia bardziej uniwersalny. Jego istotą jest wybór przez projektanta koncepcji rozwiązania konstrukcji z podaniem minimalnej liczby danych – typu słupa i jego wysokości, rozpiętości przęseł, kąta załomu trasy, układu zawieszenia przewodów, warunków klimatycznych (wiatr i oblodzenie) oraz układu odciągów. Zadaniem oprogramowania jest w pierwszej kolejności analiza zachowania przewodów i wyznaczenie kilkudziesięciu normowych [3] układów oddziaływań przewodów na słup oraz obciążeń towarzyszących działających bezpośrednio na słup. W drugiej kolejności tworzony jest plik tekstowy w formacie Autodesk Robot [4] (plik \*.str), zawierający komplet informacji (węzły, pręty, profile, obciążenia itd.) potrzebnych do analizy statycznej przestrzennego układu kratowego. Wyniki obliczeń

statycznych są automatycznie importowane i inny moduł oprogramowania przeprowadza obliczenia wytrzymałościowe. Import wyników obliczeń statycznych wynika z konieczności przeprowadzenia obliczeń nośności według procedur odbiegających od stosowanych w Eurokodzie 3.

Aktualnie trwają prace nad trzecim wariantem oprogramowania, w którym system będzie wyposażony we własny moduł do obliczeń statycznych.

W każdym wariantcie oprogramowania konstrukcja zapisana jest we własnym formacie. Dodatkowo moduły umożliwiają wzajemną konwersję i generację dokumentacji rysunkowej oraz zestawienia materiałów (modułów kratowych, odciągów linowych, elementów łącznikowych oraz śrub). Graficzna reprezentacja konstrukcji może zostać wyeksportowana w powszechnie obsługiwanym przez systemy CAD formacie dxf (Drawing eXchange Format), natomiast zestawienia materiałowe zapisywane są w formacie rtf (Rich Text Format), dającym możliwość odczytania w wielu edytorach tekstu.

### 4. Podsumowanie

Oprogramowanie do projektowania uniwersalnych modułowych konstrukcji wsporczych UMKW ma na celu skrócenie czasu modelowania, sprawdzania nośności i tworzenia dokumentacji potrzebnej do odtworzenia konstrukcji wsporczych linii elektroenergetycznych Systemu Infrastruktury Krytycznej.

- 1) Opracowanie własnego oprogramowania wynika z konieczności projektowania elementów systemu UMKW według specyficznych wymagań Załącznika Krajowego do norm elektroenergetycznych [5].
- 2) Zastosowanie technik komputerowych do automatyzacji procesu projektowania ma na celu minimalizację czasu odtworzenia infrastruktury krytycznej dzięki skróceniu czasu wykonania projektu oraz procesu doboru elementów potrzebnych do wykonania konstrukcji.
- 3) Uniwersalność systemu UMKW ma pozwalać zarządcom sieci elektroenergetycznych na ograniczenie przerw w dostawie prądu pomimo dysponowania relatywnie niewielką liczbą gotowych elementów, ułatwiając automatyzację procesu projektowania.

*Prace rozwojowe systemu UMKW zostały sfinansowane w ramach grantu nr POIR.01.01.01-00-0792/17 Narodowego Centrum Badań i Rozwoju, Program Operacyjny Inteligentny Rozwój 2014 - 2020, działanie 1.1/poddziałanie 1.1.1.*



### Literatura

- [1] Projekt POIR.01.01.01-00-0792/17 „Prace badawczo-rozwojowe nad kompleksowym systemem Emergency Restoration System na potrzeby krajowego rynku elektroenergetycznego w oparciu o technologię Uniwersalnych Modułowych Konstrukcji Wsporczych” ARINET Sp. z o.o., 2017.
- [2] FEMAP – komputerowy system do nieliniowej analizy MES.
- [3] Wandzik G, *SWN 2022. Program komputerowy do analizy przewodów i obciążeń konstrukcji wsporczych linii elektroenergetycznych według norm PN-EN 50341*, Gliwice 2009-2022.
- [4] Autodesk Inc. 2010 - Robot Structural Analysis Professional 2010 Training Manual - Metric Version. USA.
- [5] PN-EN 50341-3-22:2010: Elektroenergetyczne linie napowietrzne prądu przemiennego powyżej 45 kV, Część 3: Zbiór normatywnych warunków krajowych, PKN Warszawa 2010.