

## **INNOWACYJNE SYSTEMY KONSTRUKCYJNE JAKO INSPIRACJA W POSZUKIWANIU FORMY ARCHITEKTONICZNEJ. BADANIE WPŁYWU Z WYKORZYSTANIEM SIECI FCM**

**Alicja MACIEJKO\* Natalia RZESZOWSKA\***

\* Instytut Architektury i Urbanistyki  
Uniwersytet Zielonogórski  
Ul. Licealna 9, 65-516 Zielona Góra, Polska

E-mail: alicjamaciejko@gmail.com      URL: .....

**Słowa kluczowe:** *konstrukcje dużych rozpiętości, drewno klejone, projektowanie koncepcyjne, inspiracje, innowacje w poszukiwaniu formy, FCM*

### **ABSTRAKT**

Głównym celem badań autorów było przedstawienie wpływu poszczególnych decyzji i warunków projektowych (zebranych i uszeregowanych jako grupy czynników, w zależności od zaproponowanego scenariusza) na konstrukcję obiektów dużych rozpiętości przy założeniu, że innowacyjny system konstrukcyjny jest wyjściową inspiracją w poszukiwaniu formy architektonicznej. Liczba podejmowanych decyzji, uwarunkowań oraz kompromisów na etapie przygotowania inwestycji oraz projektowania koncepcyjnego jest ogromna i złożona, niemal w każdym projekcie i wzrasta wraz ze stopniem skomplikowania (innowacji). W bardzo dużym stopniu decyzje są podejmowane indywidualnie przez architekta nie tylko na podstawie analizy informacji, norm, scenariuszy i standardów projektowych ale także na podstawie intuicyjnych analiz oraz twórczego projektowania - poszukiwania formy. W niniejszym opracowaniu, na podstawie wiedzy ekspertów, doświadczeń projektowych w zakresie architektury oraz przeglądu literatury i realizacji architektonicznych, zostały zidentyfikowane najbardziej istotne czynniki (źródła inspiracji i informacji) w kształtowaniu formy architektonicznej w interdyscyplinarnych obszarach, tj. m. innymi technicznymi, użytkowymi, środowiskowymi, materiałowymi, psychofizycznymi, formotwórczymi, itp. Następnie, na podstawie badań przy użyciu oprogramowania Mental Modeler

stworzono model prezentujący zależności i wpływ poszczególnych czynników wykorzystywanych w procesie decyzyjnym na zagadnienia związane z doбором rozwiązań konstrukcyjnych a także trwałością i jakością holistyczną budowli. Scenariusze prezentują szczegółowe podejścia, w których wzmacniano konkretne grupy czynników tworzące model predykcyjny jeśli-to. Otrzymane wyniki zostały zaprezentowane w formie wykresów.

## **WSTĘP**

Liczba czynników branych pod uwagę w koncepcyjnym architektonicznym projektowaniu obiektów dużych rozpiętości jest olbrzymia. Jednym z najważniejszych warunków jest wybór systemu konstrukcyjnego i dobór ten przejmuje dominującą rolę w fazie planowania, zarówno w aspekcie użytkowym, ekspresji formy, ekonomiki konstrukcji jak też ekonomii budowy i użytkowania. Kształtowanie konstrukcji dużych rozpiętości na etapie koncepcyjnym ma duży udział w działaniach twórczych, związanych z poszukiwaniem nowych form przestrzennych, stąd wymagana jest ścisła współpraca konstruktora i architekta, który w tak dynamicznych z założenia rozwiązaniach wyeksponuje estetykę ekspresji i piękno materiału. W tym badaniu przedstawiono wybrane, ważne i aktualne czynniki wpływu na podejmowanie decyzji o zastosowanej konstrukcji w koncepcyjnych projektach architektonicznych w modelu o strukturze sieci. Atrybuty węzłów sieci są jednocześnie powodami indywidualnych decyzji czyli czynnikami decydującymi o formie.

Twórcy, do których zaliczają się także architekci podejmują się coraz śmielszych wyzwań a współczesna realizacje pokazują, jak liczne oraz różne techniczne i konstrukcyjne są próby poszukiwania nowych form, nawet uwzględniając bardzo wiele wymagań stawianych obecnie architekturze, np. w zakresie bezpieczeństwa konstrukcji. Analiza tych rozwiązań pozwala na wyodrębnienie reguł kształtowania zupełnie nowych, nieznanych dotąd form i układów konstrukcyjnych na tle problematyki związanej z projektowaniem, procesem projektowym i realizacyjnym, choć większość z najbardziej nowatorskich wizji pozostaje wciąż w fazie projektowej. Reguły te są często inspirowane różnymi wątkami przewodnimi, np. wzorami i kształtami występującymi w przyrodzie, plastycznością form i procesów życia, abstrakcyjną złożonością i celowym zniekształceniem sugerującym oderwanie od intuicyjnych zasad statycznych, rytmami i geometrią oderwaną od wcześniejszych konwencji. Poszukiwania te są prowadzone w różnych, nawet odległych od siebie wątkach projektowania architektury, jednak nasuwają się pytania, w jakim zakresie budownictwo nowych form, oryginalnych i niepowtarzalnych, opartych na nieznanym dotąd zasadach konstruowania jest atrakcyjne i uzasadnione w kontekście

problemów ochrony środowiska, jakie są obecnie możliwości takiego budownictwa i czy są one w pełni wykorzystywane, a także, jakie są perspektywy kształtowania nowatorskich form w architektury współczesnej?

Formy budynków dużych rozpiętości mogą być zarówno rzeźbiarskie, dynamiczne, symboliczne i zaskakujące, jak też uniwersalne, rytmiczne, płynne i zmienne lub nawiązujące do rozwiązań występujących w naturze. Pomimo różnego kształtowania konstrukcji, struktura przestrzenna jest w nich ważna i eksponowana. Kolejne, coraz bardziej wizjonerskie eksperymenty z formą architektoniczną najsilniej są związane właśnie z rozwojem statyki i nowych materiałów konstrukcyjnych, niemniej jednak nie można pominąć także ważnego humanistycznego aspektu poszukiwań, które następują pod wpływem zmian społecznych i klimatycznych. W ich centrum znalazł się człowiek, jego kondycja i jego miejsce w świecie materialnym i naturalnym. Widoczne są olbrzymie zmiany w kształtowaniu form budownictwa, jakie nastąpiły w XX wieku i na początku XXI wieku pod wpływem nowych możliwości technologicznych, jak też zmian w doktrynie ochrony środowiska naturalnego.

Decyzja architekta często może wydawać się spontaniczną, nieracjonalną – choć w rzeczywistości taką nie jest. Dobór formy wynika z, czasami nieuświadomionego, rachunku zysków i kosztów związanych z doborem formy i kształtu architektonicznego. Zyski i koszty nie zawsze mają wymiar materialny, ale ostatecznie przedstawiają one konkretną wartość dla użytkownika np. wpływając na jego komfort, wizerunek, bezpieczeństwo, samoocenę itp. Indywidualna hierarcha tych wartości jest zróżnicowana w zależności od sytuacji i kontekstu. Podatność architekta i jego decyzje projektowe są zawsze związane z bilansem informacji będących w jego posiadaniu, wynikających z wiedzy, doświadczenia i zachowania, przy czym są one dobierane i oceniane w sposób absolutnie subiektywny.

### *Przegląd literatury (State of the Art.) + luka badawcza*

Po trzydziestu latach badań, wyzwań i rozwiązań, Fuzzy Cognitive maps (FCM) stały się odpowiednią, opartą na wiedzy, metodologią do modelowania i symulacji [Nápoles et al. 2017]. Ta technika jest szczególnie atrakcyjna przy modelowaniu systemów, które charakteryzują się niejednoznacznością, złożonością oraz niebanalną zależnością przyczynowo-skutkową. Były one wykorzystywane do modelowania budynku o niemal zerowym zużyciu energii [Vergini et al. 2018], wspierania podejmowania decyzji [Khan et al. 2000, Fonseca et al. 2022], tworzenia procesu produkcyjnego, który spełnia założone kryteria zrównoważonego rozwoju [Bezrucko et al. 2022], rozważania

problemów o charakterze socjologicznym [Dakey et al. 2023, Blacketer et al. 2021] lub ekonomicznym [Groupos 2019].

## **METODA BADAWCZA**

W niniejszym opracowaniu, na podstawie wiedzy ekspertów, doświadczeń projektowych w zakresie architektury oraz przeglądu literatury i realizacji architektonicznych, zostały zidentyfikowane najbardziej istotne czynniki (źródła inspiracji i informacji) w kształtowaniu formy architektonicznej w interdyscyplinarnych obszarach, tj. m. innymi technicznymi, użytkowymi, środowiskowymi, materiałowymi, psychofizycznymi, formotwórczymi, itp. Następnie, na podstawie badań przy użyciu oprogramowania Mental Modeler stworzono model prezentujący zależności i wpływ poszczególnych czynników wykorzystywanych w procesie decyzyjnym na zagadnienia związane z doбором rozwiązań konstrukcyjnych a także trwałością i jakością holistyczną budowli. Scenariusze prezentują szczegółowe podejścia, w których wzmacniano konkretne grupy czynników tworzące model predykcyjny jeśli-to. Otrzymane wyniki zostały zaprezentowane w formie wykresów.

## **REZULTATY**

Utworzono model FCM (Fuzzy Cognitive Maps) przy użyciu oprogramowania Mental Modeler. Niepewna wiedza przyczynowa jest przechowywana w rozmytej mapie poznawczej a węzły reprezentują zmienne zjawiska lub zestawy rozmyte. Węzeł FCM przekształca ważone i sumowane dane wejściowe w dane numeryczne, analogicznie do modelu sztucznego neuronu [Piegat, 1999]. W przeciwieństwie do systemów eksperckich, które są najczęściej drzewami klasyfikacyjnymi, FCM są nieliniowymi układami dynamicznymi.

FCM są opracowywane intuicyjnie, oferują racjonalne odwzorowanie modelu kognitywnego zainteresowanych stron, mogą obejmować szereg indywidualnych wiadomości (zarówno na szczeblu społeczności, jak i na poziomie ekspertów)[Grey et al., 2015]. FCM są często wykorzystywane jako modele strukturalne (podobnie jak diagramy pętli zwieńczeń - *Causal Loop Diagrams*<sup>1</sup>) w kontekście modelowania ekologicznego, ze szczególnym naciskiem na analizę struktury poszczególnych lub zagregowanych FCM. Niemniej jednak modele FCM mogą być także modelami symulacji, ponieważ mogą określić, jak zmieniłby się model dla danego scenariusza (za Philippe Giabbanellim z zespołem [Giabbanelli et al., 2017]) poprzez tzw. wykonanie ilościowej analizy „co jeśli” (przedstawione w scenariuszach). Scenariusze prezentują szczegółowe

---

<sup>1</sup> Informacje są uzyskiwane w drodze wywiadu, a diagramy pułapów przyczyn (*Causal Loop Diagrams* CLD) są wykorzystywane do oceny polityki.

podejścia, w których wzmacniano konkretne grupy czynników tworzące dynamiczny model predykcyjny „co jeśli”.

Zaprezentowane będą 3 scenariusze wzmacnianych czynników prezentujące modele predykcyjne „co jeśli”.

## **DYSKUSJA**

*Najważniejsze wyniki na tle*

*Ograniczenia*

*Uniwersalność użytej metody*

*Przyszłe prace*

## **WNIOSKI**

W przypadku obiektów o dużych rozpiętościach, rozwiązania konstrukcyjne są nierozzerwalnie związane z technologią zastosowanego materiału konstrukcyjnego. Powinny to być lekkie konstrukcje ukształtowane tak, aby struktura nośna, która jest elementem eksponowanym we wnętrzach była optymalna konstrukcyjnie, ekonomiczna (unoszą zarówno ciężar własny jak też ciężary użytkowe) i jednocześnie atrakcyjna wizualnie. Twórcze poszukiwanie form, oparte na tak wielu inspiracjach, z których niektóre dążą jedynie do naśladowania lub kreowania nowych, oryginalnych kształtów skutkuje realną zbudowaną przestrzenią, która będzie konsumowała potężne środki i zasoby energii (szczególnie w prestiżowych obiektach użyteczności publicznej). To pokazuje jak ważna i odpowiedzialna jest rola architektów w projektowaniu koncepcyjnym, tym właśnie pierwszym akcie tworzenia, nadawania ram, struktury, kształtów i ostatecznie życia budynku, zgodnie z poglądem, iż „projektowanie koncepcyjne konstrukcji jest najbardziej istotną fazą w jej powstaniu. Ono określa jej jakość i zasługuje na uwagę i szacunek. Większość problemów występujących w końcowej analizie konstrukcji i wykonawstwie (...) jest konsekwencją niedbałego projektu koncepcyjnego. Ogólnym celem projektu koncepcyjnego jest holistyczna jakość budowli”,[...].

Innowacja nie jest nową koncepcją w projektowaniu konstrukcyjnym, jednak projekty nie są wdrażane powszechnie. Wraz ze wzrostem złożoności geometrii systemów konstrukcyjnych rośnie wyzwanie polegające na utrzymaniu spójnej współpracy elementów. Według [...] niestandardowe rozwiązania mogą popchnąć interakcje poza punkt krytyczny i narazić projekt na ryzyko. Przeprowadzone badanie pokazuje czytelnie zależność zasad projektowania od wagowania czynników i może zostać wykorzystane do opracowania scenariuszy dla niestandardowych rozwiązań projektowych w środowisku multidyscyplinarnym. Uzyskane wyniki mogą być kompasem, który poprowadzi pomysły architektoniczne przez koncepcyjną fazę projektu,



tak aby pomysł dostosował się do wieloaspektowych możliwości (w tym konstrukcyjnych), zachowując jednocześnie swoją pierwotną ideę. Środowisko cyfrowe projektowania może w dużym stopniu te zadania ułatwić.

## LITERATURA

- [1] Nápoles, G., Espinosa, M. L., Grau, I., & Vanhoof, K. (2018). FCM Expert: *Software Tool for Scenario Analysis and Pattern Classification Based on Fuzzy Cognitive Maps*. International Journal on Artificial Intelligence Tools, 27(07), 1860010. <https://doi.org/10.1142/S0218213018600102>
- [2] Khan, M. S., Chong, A., & Gedeon, T. (2000). A Methodology for Developing Adaptive Fuzzy Cognitive Maps for Decision Support. *Journal of Advanced Computational Intelligence and Intelligent Informatics*, 4(6), 403–407. Scopus. <https://doi.org/10.20965/jaciii.2000.p0403>
- [3] Fonseca, K., Espitia, E., Breuer, L., & Correa, A. (2022). Using fuzzy cognitive maps to promote nature-based solutions for water quality improvement in developing-country communities. *Journal of Cleaner Production*, 377. Scopus. <https://doi.org/10.1016/j.jclepro.2022.134246>
- [4] Bezrucko, T., Lauka, D., Laktuka, K., Sniega, L., Vamza, I., Dzalbs, A., Terjanika, V., & Blumberga, D. (2022). Bioeconomy towards green deal. Case study of citric acid production through fuzzy cognitive maps. *Environmental and Climate Technologies*, 26(1), 684–696. Scopus. <https://doi.org/10.2478/rtuct-2022-0052>
- [5] Dakey, S., Deshkar, S., Joshi, S., & Sukhwani, V. (2023). Enhancing Resilience in Coastal Regions from a Socio-Ecological Perspective: A Case Study of Andhra Pradesh, India. *Sustainability (Switzerland)*, 15(12). Scopus. <https://doi.org/10.3390/su15129565>
- [6] Blacketer, M. P., Brownlee, M. T. J., Baldwin, E. D., & Bowen, B. B. (2021). Fuzzy Cognitive Maps of Social-Ecological Complexity: Applying Mental Modeler to the Bonneville Salt Flats. *Ecological Complexity*, 47. Scopus. <https://doi.org/10.1016/j.ecocom.2021.100950>
- [7] Giabbanelli Ph., Gray S., Aminpour P., 2017, *op.cit.*
- [8] Grouinpos, P. P. (2019). Using Fuzzy Cognitive Maps in Analyzing and Studying International Economic and Political Stability. 52(25), 23–28. Scopus. <https://doi.org/10.1016/j.ifacol.2019.12.440>
- [9] Gray S., de Kok J., Helfgott A., O'Dwyer B., Jordan R., Nyaki A., 2015. Using fuzzy cognitive mapping as a participatory approach to analyze change, preferred states, and perceived resilience of social-ecological systems. *Ecology and Society*, 20 (2), 11.
- [10] Maciejko, A. 2011. *Analiza przydatności konstrukcji z drewna klejonego do konstruowania form architektury współczesnej*, rozprawa doktorska. Wydział Architektury Politechniki Wrocławskiej.
- [11] Mielczarek, Z. 1994. *Budownictwo drewniane* Warszawa: Arkady.
- [12] Natterer, J., Herzog, T., Volz, M. 1999/1991 *Holzbau Atlas Zwei*. DETAIL, Institut fuer internationale Architektur-Dokumentation GmbH & Co. KG.
- [13] Piegat A., 1999. Modelowanie i sterowanie rozmyte. Akademicka Oficyna Wydawnicza EXIT. Warszawa.
- [14] Rębielak, J. 1992. *Struktury przestrzenne o dużych rozpiętościach*. Wrocław. Wydawnictwo Politechniki Wrocławskiej.
- [15] Schlaich, J. 2007. *Koncepcyjne projektowanie lekkich konstrukcji*. Artykuł opracowany przez prof. S. Kusia na podstawie referatu wygłoszonego na XI międzynarodowej konferencji „konstrukcje metalowe”, ICMS 2006, Rzeszów 2006. Inżynieria i Budownictwo nr3/2007.
- [16] Sławińska, J. 1997 *Ekspresja sił w nowoczesnej architekturze*. Warszawa: Arkady,
- [17] Zalewski, W. 2000. *Moc i lekkość – muzy projektanta konstrukcji*. Architektura –Murator, 11/2000.
- [18] Zalewski, W. 1995 *Wytrzymałościowe kształtowanie konstrukcji na minimum ciężaru*. Inżynieria i Budownictwo 9/95.