



## Wpływ elementów konstrukcyjnych na architekturę obiektu

Nina Sołkiewicz–Kos<sup>1</sup>, Sebastian Kowański<sup>2</sup>

### STRESZCZENIE:

Architektura obiektów w konstrukcji stalowej wynika bezpośrednio z przyjętych rozwiązań konstrukcyjnych i technologicznych. Forma i estetyka słupów, belek i kratownic stają się istotnym elementem kształtowania zarówno wnętrza obiektu, jak i jego struktury zewnętrznej. Transparentność elementów konstrukcyjnych w porównaniu do konstrukcji murenych czy żelbetonowych urozmaica formę obiektu, wzmacnia jego odbiór, intrygując i pobudzając wyobraźnię obserwatora. W obliczu skali obiektów w konstrukcji stalowej, realizowanych w sąsiedztwie terenów miejskich, jak też bezpośrednio w obrębie miast, ich architektura i konstrukcja będzie wpływać w coraz większym stopniu na kształt środowiska kulturowego i przyrodniczego.

### SŁOWA KLUCZOWE:

architektura; architektura przemysłowa; konstrukcje stalowe

## 1. Wprowadzenie

W artykule autorzy omawiają kwestie rozwiązań obiektów architektury przemysłowej ze szczególnym uwzględnieniem zagadnień konstrukcyjno–materiałowych i formalnych w odniesieniu do konstrukcji stalowych. Współczesne nowe możliwości projektowania obiektów z wykorzystaniem technologii cyfrowych, a także zmieniające się parametry materiałowe, techniczne i technologiczne wpływają na produkt finalny, jakim są nowe struktury i formy obiektów architektonicznych [1–3].

Dodatkowo w artykule omówiono zagadnienia dotyczące coraz większej roli i znaczenia obiektów realizowanych w technologiach uprzemysłowionych w kontekście ich rosnącej ilości, skali rozwiązań, które wpływają na kształtowanie środowiska zbudowanego – miejskiego, jak również na obszarach podmiejskich.

## 2. Historyczny zarys rozwoju obiektów architektonicznych realizowanych w konstrukcjach stalowych: XIX wiek i początek XX wieku

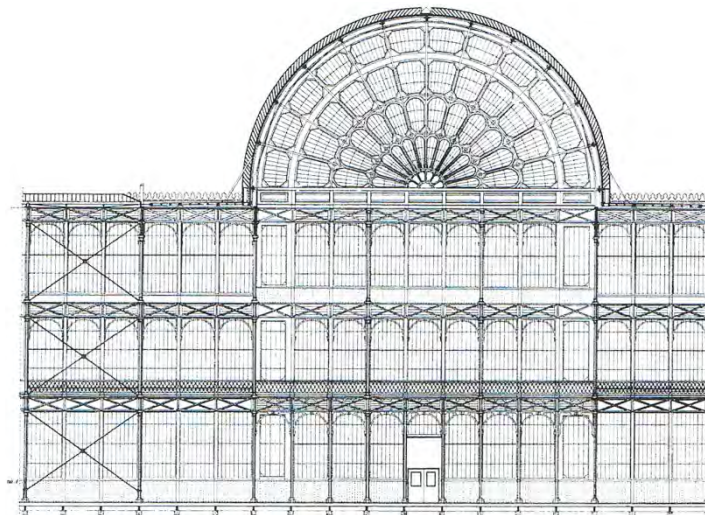
Obiekty architektoniczne realizowane w konstrukcjach stalowych mają swoje źródło w epoce rewolucji przemysłowej. Początkowe wykorzystywanie żeliwa w nowych rozwiązaniach obiektów przemysłowych, które ma swoje początki w warunkach brytyjskich, dotyczy budynku produkcyjnego – fabryki „Salford Twest Co”. Została ona zbudowana w 1801 roku wg projektu Watta i Boultona. Zastosowali oni szkieletową konstrukcję żeliwną o wysokości 7 kondygnacji. Zastosowanie konstrukcji szkieletowej odpowiadało procesowi technologicznemu oraz ówczesnemu systemowi pracy. Elastyczność układu przestrzennego była idealną

<sup>1</sup> Politechnika Częstochowska, Wydział Budownictwa, ul. Akademicka 3, 42–218 Częstochowa, e-mail: ninasołkiewiczkos@gmail.com, orcid id: 0000-0001-5477-3891

<sup>2</sup> Student – Politechnika Częstochowska, Wydział Budownictwa, ul. Akademicka 3, 42–218 Częstochowa, e-mail: sebastian.kowansky@op.pl, orcid id: 0000-0003-2735-2463

odpowiedzią na zespolenie wszystkich opisywanych wyżej elementów produkcji przemysłowej, dotyczącej wnętrza obiektu [4].

Rozwój form obiektów przemysłowych był związany z dalszym doskonaleniem materiałowym i formalnym elementów składowych obiektów tego typu. Warto tu wspomnieć o realizacji reprezentacyjnego pawilonu „Crystal Palace”, zaprojektowanego na potrzeby Wystawy Światowej w Londynie (1851, arch. Joseph Paxton) (rys. 1). Strukturę obiektu zaprojektowano jako żeliwny szkielet, składający się z prefabrykowanych elementów w powtarzającym się układzie modułarnym [5].



Rys. 1. „Crystal Palace”, zaprojektowany na potrzeby Wystawy Światowej w Londynie. Strukturę budynku stanowi żeliwny szkielet wykonany z prefabrykowanych elementów [5]

Następnym etapem rozwoju konstrukcji szkieletowych są konstrukcje stalowe, które wyparły rozwiązania żeliwne w procesie doskonalenia technologii materiałowych i konstrukcji budowlanych. Prekursorem wdrożenia konstrukcji stalowych był Henry Bessemer, który zapoczątkował proces produkcji stali z rud żelaza. Tę nowoczesną metodę Sir Henry Bessemer wdrożył w 1856 roku [5].

Wówczas na kontynencie europejskim powstały wiodące realizacje hal produkcyjnych związanych z wykorzystaniem w architekturze konstrukcji stalowych. Jednym z istotnych nowych przykładów jest stalowa nitowana konstrukcja hali maszyn, która została wykonana na potrzeby Paryskiej Wystawy Światowej (1889 rok) [5].

Początek wieku XX jest kontynuacją epoki stosowania rozwiązań szkieletowych konstrukcji stalowych, które zapewniają elastyczność rozwiązań przestrzeni wewnętrznej, niezbędnej dla zmieniających się uwarunkowań procesów technologicznych i procesów pracy [6].

Pojawiają się nowe rozwiązania przestrzenne. W szerszym zakresie zostają wprowadzone rozwiązania funkcjonalno-przestrzenne i konstrukcyjne obiektów niskich (parterowych) dla celów produkcyjnych. Powoduje to, że okres pierwszych trzech dekad XX wieku jest okresem przełomowym w odniesieniu do kształtowania formy, funkcji i konstrukcji obiektów przemysłowych [5].

W okresie po II wojnie światowej nastąpił nowy etap w tworzeniu wzorców architektury przemysłowej. Z jednej strony była to kontynuacja osiągnięć architektury lat międzywojennych, z drugiej zaś pojawienie się nowego impulsu rozwojowego w postaci nowych technologii produkcyjnych i zmian uwarunkowań socjalnych. Miało to wpływ na zmiany w szukaniu rozwiązań jakości pracy i nowej organizacji produkcji (dla przykładu odrzucenie „niehumanitarnej” taśmy produkcyjnej).

### 3. Zarys rozwoju obiektów architektonicznych realizowanych w konstrukcjach stalowych – era ponowoczesna

W erze ponowoczesnej (koniec XX wieku) ewolucja form i struktur przemysłowych podlega kolejnym zmianom. Lokalizacja stref przemysłowych została uwolniona od warunków naturalnych w postaci dostępu do energii pierwotnej i wody.

W erze poprzemysłowej te okoliczności nie są już decydujące w zakresie lokalizacji i powstawania stref przemysłowych jako takich. W obecnych czasach możliwości techniczne i technologiczne pozwalają lokalizować zakłady i strefy przemysłowe, szanując strukturę urbanistyczną i uwarunkowania środowiskowe.

Forma i konstrukcja obiektów przemysłowych w postaci prostej bryły realizowanej w konstrukcji szkieletowej, w tym konstrukcji stalowej, stała się popularna poza zwartym obszarem stref przemysłowych. Ich lokalizacja i estetyka pozwala na adaptacje tego typu konstrukcji i formy do różnorodnych funkcji, m.in. ośrodków i hal wystawienniczych, muzeów, ośrodków kultury, obiektów sportowych.

Formy budynków, wpisane w centra miast, noszą znamiona i cechy struktur przemysłowych i jednocześnie są często adaptowane dla obiektów kultury i sztuki. Przykładem takiego podejścia w tym zakresie był projekt i realizacja Centrum Pompidou w Paryżu (realizacja: 1977, arch.: Renzo Piano, Richard Rogers) (rys. 2). Jest to flagowy obiekt, wpisujący się w nową tendencję transparentnej formy, funkcji i konstrukcji, ukazujący nową estetykę zastosowania elementów infrastruktury przemysłowej w elewacjach budynku przeznaczonego na potrzeby kultury i sztuki.



Rys. 2. Centrum Pompidou w Paryżu (realizacja: 1977, arch.: Renzo Piano, Richard Rogers)  
źródło: <https://www.parisinfo.com>

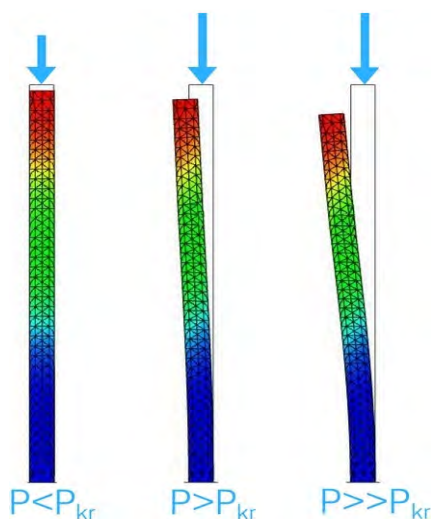
Tego typu myślenie okazało się niezwykle istotnym impulsem przy projektowaniu nowych obiektów, pełniących zarówno funkcje przemysłowe, jak i użyteczności publicznej. Jedno-przestrzenna hala wykonana w konstrukcji stalowej stała się uniwersalną formą dla rozwiązań funkcjonalno–przestrzennych, jak też estetycznych. Estetyka elewacji zewnętrznych, jak też wysokie walory designu wewnątrz stały się powodem projektowania tego typu obiektów przez środowiska architektów. Ich współpraca z konstruktorami daje najlepsze efekty w zakresie nowych rozwiązań estetyczno–konstrukcyjnych. Współpraca między tymi dwoma branżami daje możliwość elastycznego kształtowania zarówno elementów wewnątrz struktury obiektu, jak i kształtowania jego formy zewnętrznej.

#### 4. System mocowania fasady i dachu budynku a stateczność konstrukcji

W artykule zwrócono uwagę na rolę systemu elementów konstrukcyjnych służących do mocowania płyt fasady budynku oraz pokrycia dachu i uwzględnienie ich w modelu obliczeniowym. Obecność ww. rozwiązań ma duży wpływ na analizę wyoboczeniową. Układ mocowania płyt ścian zewnętrznych stanowiących bezpośrednią ochronę przed oddziaływaniem czynników atmosferycznych w systemie wertykalnym wymusza zastosowanie tzw. ryglówek, które są zbędne przy układzie horyzontalnym. Podobna kwestia dotyczy pokrycia dachu. Stosowane rozwiązania wykorzystują płatwie jako belki mocowane prostopadłe do wiązarów kratowych lub rygli ramowych.

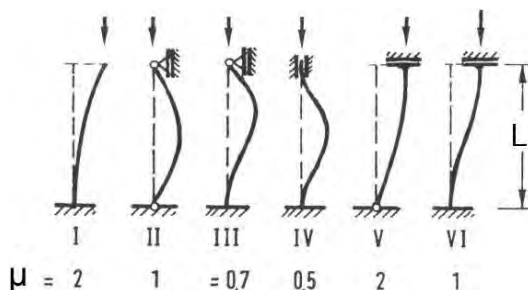
Powyższe rozwiązania należy uwzględniać w modelach obliczeniowych, ponieważ ich wpływ może okazać się korzystny poprzez skrócenie długości wyoboczeniowej elementów konstrukcyjnych.

Na rysunku 3 przedstawiono kilka sposobów umożliwiających właściwe oszacowanie wartości współczynnika długości wyoboczeniowej elementów konstrukcyjnych. Każdy przypadek budzący wątpliwości należy poddać analizie obliczeniowej. Tu wraz ze wzrostem rozwoju techniki komputerowej przychodzą z pomocą oprogramowania numeryczne, będące dobrymi narzędziami wspomagającymi projektowanie.



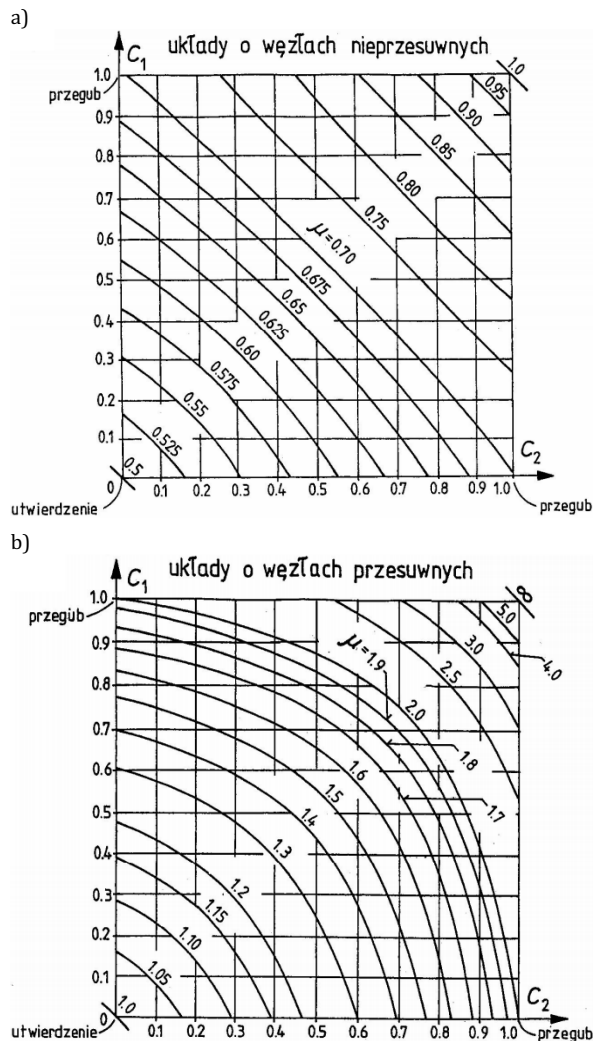
Rys. 3. Analiza pręta w programie MES [7]

Wartości współczynników długości wyoboczeniowej zdefiniowane przez Eulera mają bardziej charakter teoretyczny i w dosyć złożonych przypadkach nie można ich wykorzystać (rys. 4).



Rys. 4. Teoretyczne współczynniki długości wyoboczeniowej dla przypadków Eulera [8]

Poniżej zostanie przedstawionych kilka rozwiązań, które zespół projektowy może wykorzystać w celu znalezienia właściwej wartości współczynników. Pierwszym z nich mogą być nomogramy zawarte w normach projektowych (rys. 5). Aby z nich skorzystać, na początku należy oszacować, czy układ konstrukcyjny, będący przedmiotem zainteresowania, posiada węzły przesuwnie czy nieprzesuwnie. Wariant drugi jest zdecydowanie bardziej popularny (rys. 6). Z nomogramów korzystamy w następujący sposób: zarówno dla konstrukcji przesuwnych, jak i nieprzesuwnych na początku układu współrzędnych znajduje się pełne utwierdzenie, natomiast wartości występujące na osi rzędnej i odciętej zmierzają do zamocowania w pełni przegubowego. Po ustaleniu warunków brzegowych dla rozpatrywanego elementu na przecięciu dwóch prostopadłych do siebie kierunków możemy odczytać współczynnik dla danej sytuacji. Wartości te zostały wyznaczone na podstawie obliczeń analitycznych umożliwiających wyznaczenie efektywnej długości wybocheniowej, uwzględniając sposób zamocowania końców pręta, podatność węzłów, oraz sztywność elementów dochodzących. Metoda czysto analityczna została niemal całkowicie wyparta przez oprogramowania komputerowe.



Rys. 5. Nomogramy współczynników długości wybocheniowej: a) układy o węzłach nieprzesuwnych; b) układy o węzłach przesuwnych [9]

Efektywna długość wybooczeniowa:

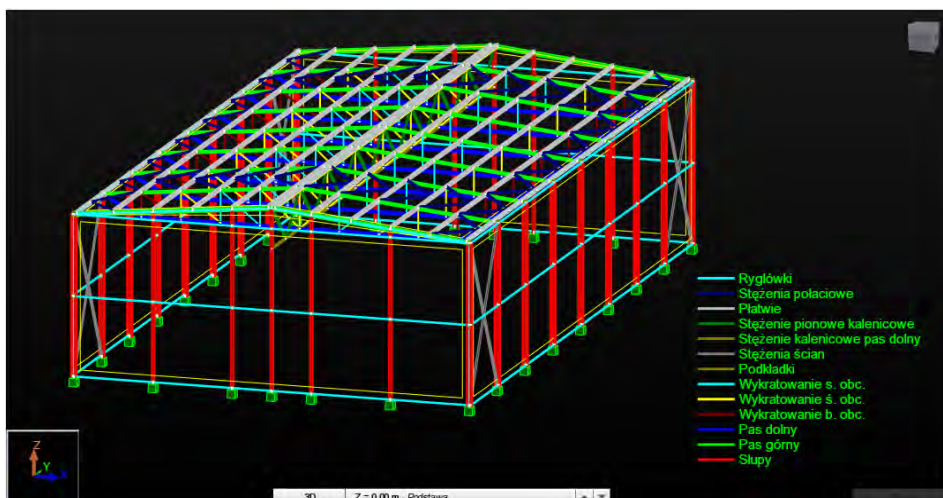
Dla ram nieprzesuwnych [10]

$$l_0 = 0,5 \cdot l \cdot \sqrt{\left(1 + \frac{k_1}{0,45 + k_1}\right) \left(1 + \frac{k_2}{0,45 + k_2}\right)}$$

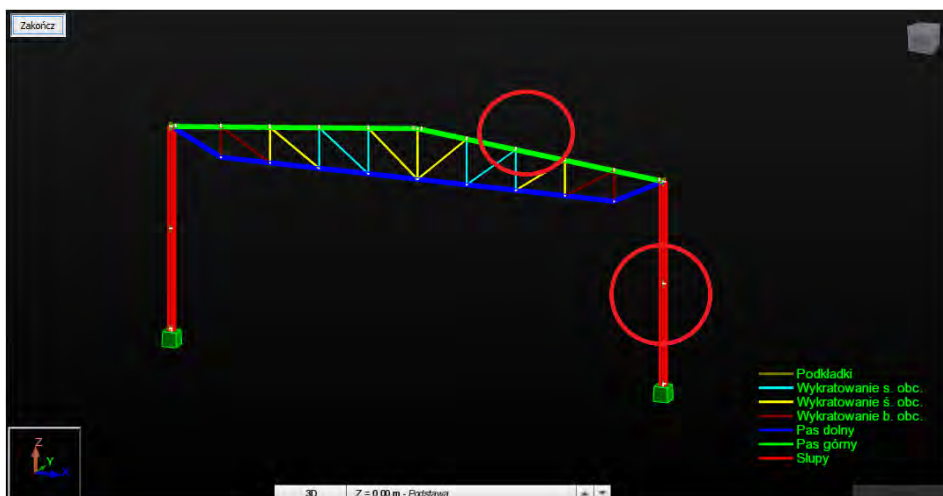
Dla ram przesuwnych [10]

$$l_0 = l \cdot \max \left\{ \sqrt{1 + 10 \cdot \frac{k_1 \cdot k_2}{k_1 + k_2}} ; \left(1 + \frac{k_1}{1 + k_1}\right) \cdot \left(1 + \frac{k_2}{1 + k_2}\right) \right\}$$

Na rysunku 6 przedstawiono przykładową konstrukcję hali stalowej i elementy, dla których przeprowadzono obliczenia (rys. 7). Podano podstawowe informacje dotyczące możliwości wyznaczenia współczynnika długości wybooczeniowej za pomocą programu numerycznego.



Rys. 6. Model hali w programie numerycznym [opracowanie własne]



Rys. 7. Model hali w programie numerycznym. Elementy, dla których przeprowadzono obliczenia [opracowanie własne]

W danym programie istnieje możliwość wyboru współczynnika długości wybojeniowej w sposób automatyczny, co nie zawsze prowadzi do właściwych wyników. Niekiedy dla danego elementu program założy długość wybojeniową równą fizycznej długości. W przypadku obecności elementów dochodzących w płaszczyźnie wybojenia wynik może być błędny.

Jednym z podejść jest uzyskanie współczynnika długości wybojeniowej przez poszukiwanie sił krytycznych w analizie wybojeniowej. Opcja ta jest dostępna po zmianie typu analizy ze statyki na wybojenie. Rezultaty uzyskane w ten sposób są niemal identyczne z wartościami, które można odczytać z nomogramów przedstawionych na rysunku 5.

Reasumując, narzędzia w postaci programów komputerowych są pomocne w pracach projektowo–konstrukcyjnych poprzez znaczne skrócenie czasu obliczeń. Pozostawione jednak bez kontroli człowieka mogą przynieść wiele problemów.

## 5. Wnioski

Coraz większe wymagania w zakresie estetyki obiektów przemysłowych wymuszają ciągłość poszukiwań w zakresie formy obiektu, jak też kształtowania jego struktury wewnętrznej. Poprawa standardu pracy czy rozwiązań technologicznych jest wpisana w nieustanne doskonalenie i poszukiwanie nowych form wyrazu architektury przemysłowej.

Współpraca architektów i konstruktorów ma największe szanse na znalezienie najlepszych rozwiązań estetyczno–konstrukcyjnych. Współpraca między tymi branżami daje możliwość na wprowadzenie nowej jakości w sferę produkcji, miejsc pracy, jak i wyrazu architektonicznego całego obiektu. Doskonalenie rozwiązań architektoniczno–konstrukcyjnych obiektów w konstrukcji stalowej wpisuje się we współczesny nurt architektury społecznej i proekologicznej.

## Literatura

- [1] Podhalański B., Podhalański A., House on the outcrop of a mine – architectural form versus structural design conditions, Zeszyty Naukowe Politechniki Częstochowskiej 2017, seria Budownictwo 23, 267–276.
- [2] Rybka A., Kozłowska K., Interdyscyplinarne wymiary bezpieczeństwa w kształtowaniu przestrzeni zurbanizowanej, Zeszyty Naukowe Politechniki Częstochowskiej 2017, seria Budownictwo 23, 275–285.
- [3] Major M., Major I., Współczesne drewniane więzary kratowe – technologia Mitek, Zeszyty Naukowe Politechniki Częstochowskiej 2015, seria Budownictwo 21, 211–217.
- [4] Sandaker B.N., Eggen A.P., Cruvellier M.R., The structural basis of Architecture, Routledge Taylor and Francis Group, London and New York 2011.
- [5] Architektura i urbanistyka współczesnego przemysłu, red. N. Juzwa, A. Gil, A. Sulimowska–Ociepka, A. Witeczek, Wydział Architektury Politechniki Śląskiej, Gliwice 2010.
- [6] Siegel C., Formy strukturalne w nowoczesnej architekturze, Wyd. Arkady, Warszawa 1974.
- [7] Wynalazca.pl
- [8] Chodor –projekt.net
- [9] PN–90 B–03200
- [10] Grzywiński M., Hale o konstrukcji żelbetowej i sprężonej – wykład autorski.

## The influence of structural elements on the architecture of the object

### ABSTRACT:

The architecture of objects in the steel structure results directly from the adopted structural and technological solutions. The form and aesthetics of columns, beams and trusses becomes an important element in shaping both the interior of the building and its external structure. Transparency of structural elements in comparison to masonry or reinforced concrete structures diversifies the form of the object, strengthens its reception, intrigues and stimulates the observer's imagination. In view of the scale of objects in the steel structure, implemented in the vicinity of urban areas as well as directly within cities, their architecture and construction will influence the shape of the cultural and natural environment more and more.

### KEYWORDS:

architecture; industrial architecture; steel constructions