

dr hab. inż. Jerzy Paślawski, prof. PP¹⁾

ORCID: 0000-0002-5570-2363

mgr inż. arch. Kamila Włoch-Surówka^{1)*}

ORCID: 0000-0002-4780-9806

Budownictwo modułowe jako możliwość elastycznego dostosowania do wymagań użytkownika na wybranych przykładach

Modular construction as a possibility of flexible adaptation to the user's requirements

DOI: 10.15199/33.2022.12.14

Streszczenie. Artykuł przedstawia ideę elastyczności w projektowaniu inżynierskim na przykładzie budownictwa prefabrykowanego/modułowego. Podstawowym założeniem jest możliwość jego adaptacji do wymagań użytkownika. Budownictwo modułowe jest efektywnym narzędziem implementowania idei elastyczności i ułatwia zarządzanie inwestycją w całym cyklu życia.

Słowa kluczowe: etapowanie inwestycji; prefabrykacja; budownictwo modułowe.

Abstract. The article presents the idea of flexibility in engineering design expressed in the form of prefabricated/modular construction. The basic assumption is the possibility of adapting to the user's requirements. Modular construction is an effective tool to implement the idea of flexibility and facilitates the management of investment throughout the life cycle.

Keywords: investment step by step; modular construction.

Realizowane obecnie przedsięwzięcia budowlane charakteryzują się coraz większą złożonością, ryzykiem i niepewnością. Wynika to przede wszystkim z dynamicznie zmieniającego się otoczenia. Trudno jest bowiem przewidzieć wymagania użytkowników, mogące wynikać z optymistycznych założeń, które nie znajdują potwierdzenia w późniejszej realizacji. Przykładem jest, wciąż aktualna w polskim rozumowaniu, budowa dużego domu rodzinnego zaprojektowanego z myślą, że dorastające dzieci pozostaną z rodzicami. Kiedy późniejsze realia okazują się inne, oznacza to dramatyczne zmaganie się z utrzymaniem dużego domu z powierzchnią kilkakrotnie przekraczającą potrzeby samotnych rodziców. W planowaniu autostrad dylemat polega głównie na ograniczonych możliwościach finansowania inwestycji oraz ich późniejszego utrzymania. W typowym przypadku, np. Poznań BY-PASS A2 zakładano rozbudowę o kolejny pas ruchu, ale trudno przewidzieć, kiedy taka potrzeba nastąpi. Wyjściem jest **elastyczne planowanie zapewniające możliwość stopniowego dostosowania do zwiększających się wymagań użytkowników dzięki etapowaniu inwestycji**. Przedmiotem artykułu są przykłady zastosowania budownictwa modułowego w różnego rodzaju inwestycjach, w których dostosowanie do zmieniających warunków użytkownika decyduje o efektywności inwestycji w całym cyklu jej życia.

Celem artykułu jest wskazanie zalet budownictwa modułowego. Zakładając elastyczne podejście do projektowania i stopniowej adaptacji takich obiektów do zmieniających się potrzeb (jak np. budynki szpitalne przygotowane na zmianę specjalizacji), preferencji czy regulacji (np. ograniczanie

ruchu pojazdów z napędem spalinowym, zmiana źródeł energii grzewczej) ważne jest poznanie czynników mających największy wpływ na inwestycję oraz wybór rozwiązań umożliwiających jej dostosowanie do aktualnych potrzeb w cyklu życia.

W budownictwie wciąż głęboko zakorzenione jest tradycyjne myślenie o procesie inwestycyjnym, szczególnie w obszarze zarządzania. W przeciwieństwie do innych sektorów produkcyjnych przeważają niesformalizowane procesy oraz mała przejrzystość w ich wykonywaniu. Każdy projekt budowlany ma swoją wyjątkową specyfikę, łatwo jednak zauważyć, że procesy budowlane są powtarzalne. Wykorzystanie w procesie budowlanym doświadczenia z innych gałęzi przemysłu zapewnia większą efektywność [1]. Nie bez przyczyny *Modern Methods of Construction* (MMC) – Nowoczesne Metody Budowlane są ogólnie przyjętym terminem opisującym wiele alternatywnych technik produkcji poszczególnych elementów obiektu budowlanego poza placem budowy [2].

Udział budownictwa modułowego w rynku budowlanym

Prefabrykacja polega na standaryzacji procesów technologicznych w całym ciągu wytwarzania, dzięki czemu zapewnia lepszą jakość obiektów oraz niezależność realizacji od warunków na placu budowy w porównaniu z tradycyjnymi metodami budowania. Udział systemów prefabrykowanych w budownictwie mieszkaniowym w Skandynawii wynosi ok. 45%, co po części jest remedium na krótki dzień pracy i krótki okres naświetlenia w sezonie jesienno-zimowym [3]. Prefabrykacja przyspiesza nie tylko wytwarzanie poszczególnych elementów, ale również wykonanie docelowego obiektu budowlanego. Najkorzystniejsze jest zastosowa-

¹⁾ Politechnika Poznańska, Wydział Inżynierii Lądowej i Transportu

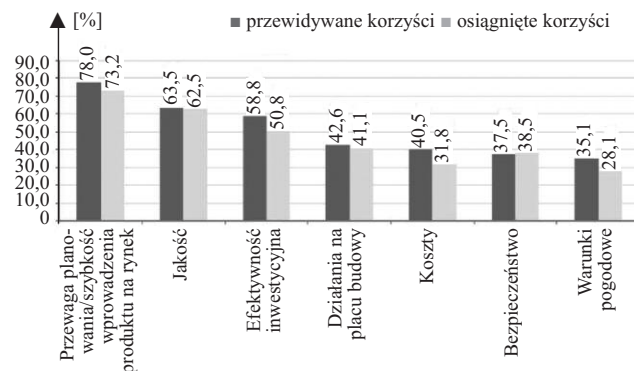
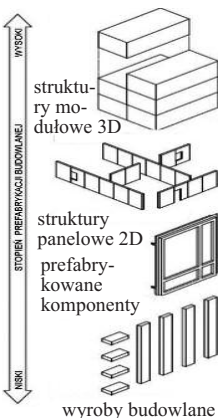
^{*}) Adres do korespondencji: kamila.wloch-surowka@put.poznan.pl

nie tzw. modułowej konstrukcji hybrydowej, łączącej elementy dwuwymiarowe z modułami przestrzennymi (rysunki 1 i 2).

Obecnie prefabrykacja zyskuje coraz większe znaczenie na całym świecie i systematycznie zwiększa się jej udział w rynku budowlanym. Cechy, które ją

Rys. 1. Budownictwo modułowe jako efekt rozwoju prefabrykacji w budownictwie, za Garrison Architects [4]

Fig. 1. Modular construction as a result of the development of prefabrication in construction, by Garrison Architects [4]



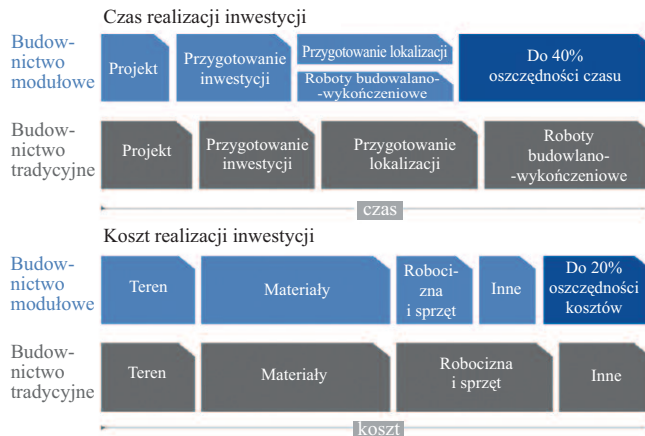
Rys. 2. Korzyści wynikające z zastosowania prefabrykacji i przeniesienia prac poza plac budowy [5]

Fig. 2. Benefits of using prefabrication off-site [5]

wyróżniają, są szczególnie istotne w sektorze budownictwa mieszkaniowego oraz infrastrukturalnego, które dążą do zwiększenia wydajności i sprawniej realizacji inwestycji celów publicznych. W Wielkiej Brytanii MMC zostało włączone w politykę rządową. W zasadach kontraktowania inwestycji publicznych („Construction Playbook”, 2020 r.) wskazano MMC jako najbardziej efektywne narzędzie dla działań długoterminowych, skoncentrowanych na wynikach (rysunki 3 i 4). Upatruje się w nich wsparcie programu równowagi rozwoju gospodarczego kraju. Produkcja może być wykonywana niezależnie od miejsca docelowego z wykorzystaniem lokalnego potencjału siły roboczej i doświadczonej kadr budowlanej [6, 7].

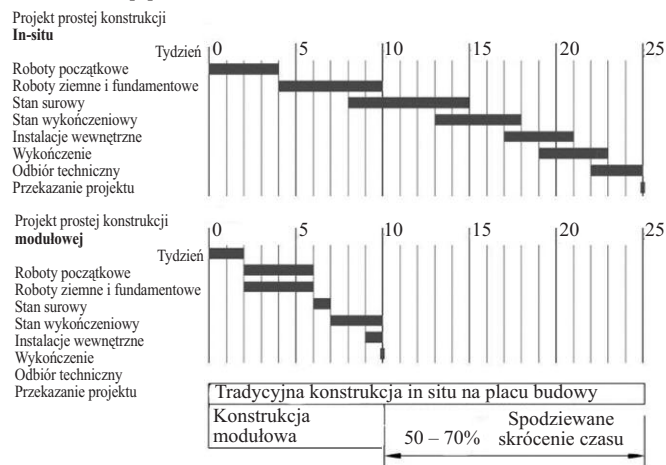
Podejście elastyczne w budownictwie

Elastyczność w kontekście inwestycji budowlanych można inaczej ująć jako system zarządzania w czasie – wychodząc od różnych scenariuszy i prognoz przez dynamiczne zarządzanie bazujące na obserwacji i reakcji wobec zmiennej rzeczywistości, dzięki któremu można uzyskać najlepszą efektywność inwestycji w czasie. W przypadku elastycznego podejścia istotne jest poznanie czynników, które będą oddziaływały na inwestycję i podlegają zmianie w czasie. Kluczowym czynnikiem jest niepewność związana z koniecznością wprowadzenia zmian i momentu ich wprowadzenia [9]. Modułowość w budownictwie umożliwia najbardziej efektywną implementację idei elastyczności w całym cyklu życia inwestycji (rysunek 5).



Rys. 3. Przykładowe porównanie czasu i kosztów budownictwa modułowego i tradycyjnego [8]

Fig. 3. Comparison of the time and cost of modular and traditional construction [8]



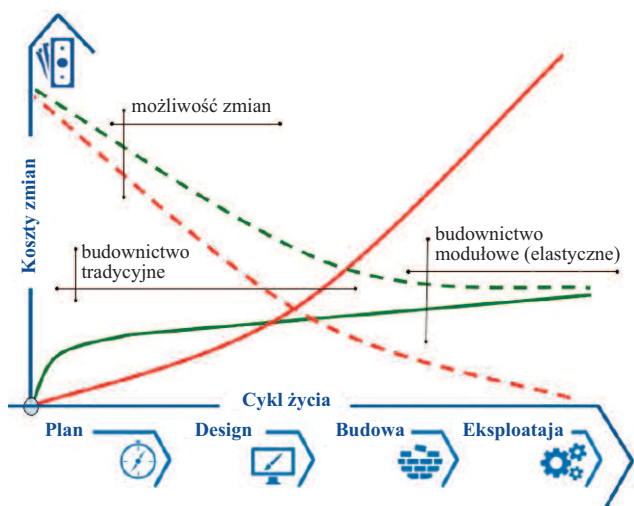
Rys. 4. Wykresy Gantta przykładowego harmonogramu realizacji projektu opartego na konstrukcji tradycyjnej in situ i modułowej [4]

Fig. 4. Gantt charts of an example project implementation schedule based on traditional in-situ and modular construction [4]

Przykłady budownictwa z wykorzystaniem modułowości i elastyczności

Takim przykładem jest projekt nowego uniwersyteckiego kompleksu szpitalnego OUH w Odense (Dania), będący obecnie w fazie realizacji, autorstwa KHR Architecture. Wybór właściwego modułu był poprzedzony fazą prototypowych badań projektowanej przestrzeni pod kątem jej wykorzystania w procesach opieki medycznej. Poszczególne oddziały szpitalne – na wzór klastrów – kształtowane są z adaptowalnych wg potrzeb modułów, tworząc przestrzenie o różnej skali i przeznaczeniu: od sal operacyjnych po indywidualne sale opieki nad pacjentami, w zależności od sytuacji zdrowotnej społeczeństwa [10]. Wybór modułów i ich wykonanie w formie prefabrykatów narzucają się same, w okolicznościach znacznie odmiennych od budownictwa tradycyjnego. Szczególnie tam, gdzie niezależność od warunków pogodowych oraz krótki czas realizacji inwestycji są jedynym możliwym wyborem.

W najnowszych projektach stacji badawczych na Antarktydzie – od realizowanej w latach 2005 – 2013 brytyjskiej stacji Halley IV (proj. Hugh Broughton Architects) [11] po powsta-



Rys. 5. Przykładowe porównanie możliwości i kosztów zmian w cyklu życia dla budownictwa tradycyjnego i modułowego (elastycznego)

Rys. Autorzy

Fig. 5. Comparison of examples of life cycle change opportunities and costs for traditional and modular (flexible) construction Fig. Authors

jący właśnie Budynek Główny Polskiej Stacji Antarktycznej im. Henryka Arctowskiego (proj. Kuryłowicz&Associates, 2015) [12] – niezwykła lokalizacja geograficzna wymusiła zastosowanie systemowej prefabrykacji i modułowości wznoszonych obiektów. Ograniczenia gabarytowe wynikają z transportu na duże odległości, a krótki okres antarktycznego lata, w którym można prowadzić prace budowlane, wymaga, by obiekt można szybko zmontować w miejscu docelowym.

Najbardziej spektakularnym przykładem, jeszcze w fazie projektowej, choć coraz bliższym urzeczywistnienia, jest budownictwo w przestrzeni kosmicznej. Budowa baz na orbicie ziemskiej i na Księżycu, a w dalszej perspektywie na Marsie nie należą już wyłącznie do dziedziny science-fiction. Pośród wielu koncepcji znajduje się projekt zespołu studenckiego z Michigan Institute of Technology (USA), wykorzystujący system modułowy i elastyczność. Został on nagrodzony w konkursie NASA w 2015 r. Stacja komercyjno-badawcza „Space MARINA” pomyślana jest jako rozwijający się w czasie obiekt z pojedynczych modułów technologicznych i mieszkalnych. Dzięki temu może się zwiększać w miarę rozwoju zainteresowania komercyjną turystyką kosmiczną i jednocześnie stanowić bazę dla astronautów do dalszych lotów badawczych związanych z eksploracją kosmosu i Marsa [13].

Moduły zaprojektowane jako najmniejsze funkcjonalne jednostki można ze sobą zestawiać, konfigurując je zgodnie ze zmiennym zapotrzebowaniem. Jest to niezwykle istotna cecha, szczególnie gdy przyszłość może przynieść wiele nieoczekiwanych zmiennych [3, 14].

Wnioski

1. Budownictwo prefabrykowane i modułowe jest niewątpliwie wynikiem industrializacji, co w wielu aspektach daje przewagę nad budownictwem tradycyjnym, m.in. jest bardziej efektywne, umożliwia kontrolowanie i standaryzację procesów produkcji oraz zarządzania w budownictwie, ogranicza problem

siły roboczej o niskich kwalifikacjach, oddziaływania otoczenia czy długich cykli realizacji.

2. Zmiana paradygmatu i podejścia do procesu inwestycyjnego, to droga do bardziej innowacyjnej, efektywnej, społecznie odpowiedzialnej przyszłości. Idea budownictwa zrównoważonego bardzo dobrze realizuje się w prefabrykacji, modułowości i elastyczności. Takie podejście wiąże się z zarządzaniem inwestycją w całym cyklu jej życia, umożliwiającym kontrolowanie obiegu materiałów i kosztów, przez co bardziej efektywnym również w minimalizowaniu oddziaływania na środowisko i emisji dwutlenku węgla.

3. Prefabrykacja poszczególnych elementów i modułów, a także powtarzalność działań znacznie skracają cykl budowy, przez co wpływają na obniżenie kosztów. Ważnym etapem projektowym jest realizacja prototypów, której doświadczenia mogą być wykorzystane w racjonalizacji kolejnych powtarzalnych działań i harmonogramów wykonawczych.

4. Prefabrykacja w budownictwie i idąca za nią powtarzalność form może prowadzić do zaniżenia wartości estetycznej obiektów. Takie doświadczenie pozostawiła w Polsce masowa prefabrykacja betonowa z lat siedemdziesiątych i osiemdziesiątych XX w. Ważne jest opracowywanie dobrych rozwiązań projektowych, by ich powtarzalność pozytywnie kształtowała ład przestrzenny.

Literatura

- [1] Bertram N, Fuchs S, Mischke J, Palter R, Strube G, Woetzel J. Modular construction: From projects to products, McKinsey & Company, 2019, <https://mckinsey.com/industries/capital-projects-and-infrastructure> (07.2022).
- [2] Modern Methods of Construction (MMC), Cast Real Estate & Construction Consultancy, https://www.london.gov.uk/sites/default/files/cast_-_mmc_-_december_2020.pdf (08.2022).
- [3] Shaping the Future of Construction. A Breakthrough in Mindset and Technology, Industrial agenda, World Economic Forum 2016, www.weforum.org (07.2022).
- [4] Garrison J, Tweedie A. Modular Architecture Manual prepared by Garrison Architects for Kullman Buildings Corp, New York, Kullman, 2008.
- [5] Rice T, Smith RE. Offsite construction industry meta-analysis: industry survey results, in: Ryan E., Smith R. E., Quale J. D. editors, Offsite architecture: constructing the future, New York, Routledge 2017, p. 93-108.
- [6] House of Lords, Science and Technology Select Committee, Off-site manufacture for construction: Building for change, 2nd Report of Session 2017-19 – published 19 July 2018 – HL Paper 169, <https://publications.parliament.uk/pa/ld201719/ldselect/ldsctech/169/16902.htm> (07.2022).
- [7] HM Government, Construction 2025, p. 61-63, https://assets.publishing.service.gov.uk/government/uploads/system/uploads/attachment_data/file/210099/bis-13-955-construction-2025-industrial-strategy.pdf (07.2022).
- [8] Szulc J, Sieczkowski. Przyszłość technologii modułowych w budownictwie. Inżynier Budownictwa. 2020, https://dos.piiib.org.pl/wp-content/uploads/2020/06/ib_05_20.pdf (09.2022).
- [9] Neufville Rd, Scholtes S. Flexibility in engineering design. 2011 Cambridge – London, The MIT Press.
- [10] <https://khr.dk/en/projects/new-ouh/> (08.2022).
- [11] <https://hbarchitects.co.uk/halley-vi-british-antarctic-research-station/> (08.2022).
- [12] <https://www.apaka.com.pl/pl/projekty/polska-stacja-antarktyczna-im-h-arctowskiego> (08.10.2022)
- [13] Lordos G Systems Thinking Underpins Space Hotel for NASA, sdmpulse. 2018 <https://sdm.mit.edu/wp-content/uploads/2018/03/SDM-Pulse-Spring-2018-FINAL.pdf> (07.2022).
- [14] Bertram N, Mischke J. Scaling modular construction, Voices on Infrastructure, McKinsey & Company. 2019, <https://GlobalInfrastructureInitiative.com> (07.2022).

Przyjęto do druku: 18.11.2022 r.