

# Racjonalna przyszłość architektury – prefabrykacja



dr hab. inż. arch.

**BEATA MAJERSKA-PALUBICKA, PROF. PŚ**

Politechnika Śląska

Wydział Architektury

ORCID: 0000-0002-5951-2727

Czy prefabrykacja w architekturze to najskuteczniejsza alternatywa dla budownictwa konwencjonalnego i racjonalnej przyszłości kreowania środowiska zbudowanego?

Zmiany geopolityczne, klimatyczne, a także postępująca urbanizacja wymuszają poszukiwanie nowych, bardziej efektywnych sposobów budowania. Na popularności zyskują procesy, które wpisują się w założenia paradygmatu zrównoważonego rozwoju i gospodarki o obiegu cyrkularnym. Zmieniające się ceny materiałów budowlanych, brak wykwalifikowanych pracowników, a przy tym rosnące świadomość i oczekiwania użytkowników powodują wzrost zapotrzebowania na budynki realizowane w przewidywalnych: terminach, standardach, cenie oraz stopniu wpływu na środowisko. Celem artykułu jest przedstawienie zalet technologii prefabrykacji jako metody projektowania i wznoszenia obiektów odpowiadającej tym wymaganiom. Artykuł jest wynikiem badań literaturowych, wizyt studyjnych oraz współpracy Wydziału Architektury PŚ w Gliwicach z firmą Unihouse w Bielsku Podlaskim, dotyczących zagadnienia prefabrykacji w kreacji środowiska zbudowanego, a także udziału autorki w ocenie realizowanych projektów w ramach Eney in Buildings and Communities Programme IEA.

Zagadnienie prefabrykacji, zarówno w kontekście historycznym, jak i technologicznym, nie jest tematem nowym. „Blokowiska” obarczone (wynikającymi z zastosowanych rozwiązań przestrzennych i funkcjonalnych) anonimowością, brakiem więzi społecznych, monotonią i szarością zazwyczaj kojarzone są z ograniczeniem swobody twórczej projektantów i ograniczeniami przestrzennymi dla mieszkańców. Poszukiwanie nowych form, rozwiązań materiałowych i technologii oraz efektywnych kosztowo i środowiskowo systemów produkcji oraz wznoszenia to pole badawcze, po którym obecnie poruszają się spadkobiercy modernistycznych idei prefabrykacji. Wiek XXI stwarza nowe możliwości technologiczne, a formalne i strukturalne eksperymenty dążą do innowacyjnych

rozwiązań w procesach prefabrykacji, które umożliwiają spełnianie indywidualnych wymagań odbiorców i uszanowanie miejsca lokalizacji w odniesieniu do kontekstu kulturowego, gospodarczego, klimatycznego i środowiskowego [1, 2].

Możliwości, jakie dają technologie – szkieletowa, wielkożyłowa, moduły przestrzenne – wolumetryczne (Volumetric Modules), stosowane cyfrowe narzędzia projektowe i BIM mają coraz korzystniejsze oddziaływanie na kształtowanie projektowanych obiektów. Modułowość i powtarzalność mają wpływ na uporządkowany, spójny charakter tworzonej architektury, a nowe technologie dają możliwość różnorodności i przetamywania monotonii rozwiązań [3].

Rozwiązania funkcjonalno-przestrzenne, rzuty kondygnacji, bryły budynków, ich wysokość (zmienna liczba kondygnacji)

stają się bardziej zróżnicowane przede wszystkim dzięki stosowaniu różnych siatek modułowych – np. stosowana przez firmę GOLDBECK wielokrotność wymiaru 0,625 m przy maksymalnej rozpiętości modułowej 6,25 m, moduły mieszkalne o długości 6,36 lub 7,15 m i szerokości 3,18 m firmy MaxBogl [4] czy moduły o długości 12,7 m oraz szerokości 4,3 m i 3,6 m firmy Unihouse [5]. Przyjęcie właściwego modułu jest bardzo istotne ze względu na optymalizację rozwiązań funkcjonalno-przestrzennych obiektów (lokalii, mieszkań, garaży i przestrzeni komunikacji), ale również ma wpływ na organizację procesu inwestycyjnego (produkcja, transport, kompletacja).

Indywidualność rozwiązań osiągnięta jest również dzięki stosowaniu zewnętrznych systemów balkonów, loggii, tarasów



Rys. 1. Moduł przestrzenne firmy Unihouse montowany na placu budowy; źródło: materiały promocyjne Unihouse

montowanych bez mostków termicznych oraz matryc z żywic epoksydowych nadających swoiste wzory i faktury prefabrykowanym elementom elewacyjnym. W projektach zagospodarowania terenu wokół budynków priorytetem staje się skala wnętrza urbanistycznego oraz dbałość o jakość małej architektury, terenów biologicznie czynnych itd., które budują przyjazne dla użytkowników przestrzenie.

Przestrzenne moduły wolumetryczne, dzięki sztywności konstrukcji, dają większe możliwości różnicowania formy obiektów. Zmiana kierunków ułożenia modułów, przesunięcia względem siebie, pozostawianie pustych przestrzeni pomiędzy modułami – umożliwiają bardziej zróżnicowane indywidualne rozwiązania. Przykładem może być założenie Atlantic Yards w Nowym Jorku, z 16-piętrowym, modułowym wieżowcem mieszkalnym B2, złożonym z 930 modułów przestrzennych wyposażonych w łazienki, niektóre instalacje i elementy wystroju wewnątrz (proj. SHoP Architects, 2016).

Zalety systemów prefabrykacji to przede wszystkim walor proekologiczny, ekonomiczny, podniesienie jakości pracy oraz wytworzonego produktu, a w tym:

- Skrócenie czasu pracy na placu budowy dzięki redukcji ciężkich prac budowlanych, precyzyjnej organizacji placu budowy, automatyzacji oraz dopracowanej logistyce dostaw elementów, ich składowania i kompletacji. Według raportu firmy Mc Kinsey wykonanie inwestycji w systemach modułowych skraca czas realizacji od 20 do 50%, co istotnie wpływa na koszty [6]. Zastosowanie modułów kubaturowych o wysokim (ok. 90%) poziomie wykończenia skraca czas prac do ok. 80% [6, 7].
- Zmniejszenie kosztów i gwarancja utrzymania ceny dzięki mechanizacji produkcji, skróceniu czasu pracy (generujących koszty) wyspecjalizowanych urzędników oraz zatrudnieniu mniejszej liczby wykwalifikowanych, drogich pracowników budowlanych. Skrócenie czasu trwania inwestycji, nawet w dobie znacznej inflacji, pozwala na utrzymanie założonej ceny realizacji obiektu.
- Zmniejszenie wpływu warunków atmosferycznych na proces budowy dzięki przeniesieniu prac budowlanych do hal produkcyjnych. Niemniej przy pracach montażowych z użyciem dźwigów wieżowych ograniczenie nadal mogą stanowić np. silne, porywiste wiatry.
- Ograniczenie oddziaływania procesu budowy na otoczenie i środowisko przyrodnicze dzięki możliwości doboru technologii pod kątem energochłonności i emisyjności, skróceniu czasu pracy maszyn i urządzeń budowlanych, stosowaniu nowoczesnych technologii.



Rys. 2. Modułowe budynki mieszkalne realizowane przez Unihouse, a. Signaturhagen w Kongsbergu, Norwegia, b. SWSG w Stuttgardzie, Niemcy; źródło: materiały promocyjne Unihouse

Efektom jest ograniczenie emisji CO<sub>2</sub> i innych zanieczyszczeń oraz zmniejszenie ilości odpadów budowlanych.

- Oszczędności materiałowe dzięki innowacyjnym, efektywnym technologiom ograniczającym ilość wykorzystywanych materiałów budowlanych oraz produkowanych odpadów. Technologie prefabrykowane, jako lżejsze od konwencjonalnych, skutkują zmniejszeniem ciężaru obiektów, co również wpływa na oszczędności materiałowe przy realizacji fundamentów [7].
- Podniesienie standardów jakości i precyzji wykonania produktu dzięki pracy wykonywanej w komfortowych, kontrolowanych mikroklimatycznie warunkach w halach przemysłowych, przez wysoko wykwalifikowanych pracowników, przy wykorzystaniu nowoczesnych maszyn i zautomatyzowanych linii produkcyjnych, przy wsparciu przez efektywne i rozbudowane zaplecze logistyczne oraz możliwości wieloetapowej kontroli wykonania poszczególnych elementów [8].

- Podniesienie bezpieczeństwa, komfortu i jakości organizacji pracy dzięki realizacji procesów budowlanych w dobrych środowiskowych warunkach oraz wsparciu prac nowoczesnymi technologiami, narzędziami i maszynami oraz dobrym socjalnym zapleczem.
- Gwarancja na wykonany produkt dzięki możliwości realizacji inwestycji przez jeden podmiot w całości odpowiedzialny za prace (od projektu przez budowę po użytkowanie).

W efekcie osiągnięte jest zmniejszenie operacyjnego śladu węglowego dzięki precyzji wykonania, szczelności połączeń, jakości materiałów użytych do produkcji elementów/prefabrykatów oraz śladu węglowego wbudowanego dzięki skróceniu czasu prac budowlanych, możliwości wykorzystania proekologicznych źródeł energii i materiałów oraz powtarzalności produkowanych elementów i modułów. Produkcja elementów w kontrolowanych warunkach pozwala na zaplanowanie i utrzymanie reżimów produkcyjnych, zoptymalizowanie zużycia



Rys. 3. Heimdalsporten, osiedle 8-kondygnacyjnych budynków mieszkalnych wykonanych przez Unihouse w Trondheim, Norwegia; źródło: materiały promocyjne Unihouse

surowców, produktów i materiałów. Dlatego też systemy prefabrykacji stanowią podstawę strategii minimalizacji śladu węglowego generowanego przez przemysł budowlany, opracowywanych między innymi przez International Energy Agency (IEA), zakładających redukcję emisji w sektorze Architecture, Engineering and Construction (AEC) o ok. 6% rocznie, tak aby w 2050 roku osiągnąć neutralność klimatyczną. Jest to istotne w kontekście danych z roku 2020, podających, że sektor AEC jest odpowiedzialny za 38% globalnej emisji gazów cieplarnianych [9].

Polityka UE dotycząca wykorzystania energii i materiałów pochodzących ze źródeł odnawialnych, w tym planowego wykorzystywania drewna z plantacji certyfikowanych, wpływa na rozwój prefabrykacji z elementów drewnianych, np. CLT. Osiągana sztywność i wytrzymałość dają możliwość ich wykorzystania w strukturach bardziej skomplikowanych i wysokich. Niemniej nadal konkurencyjne pozostają betonowe systemy prefabrykowane na bazie keramzytu i materiałów pochodzących z recyklingu, które nie zagrażają niekontrolowanej wycince lasów. Modyfikacja składu betonu umożliwia otrzymanie cennych właściwości: wysokiej wytrzymałości, samoczyszczenia, samozagęszczania, transparentności, ciepłochłonności itd. Łączenie elementów prefabrykowanych – panelowych, przestrzennych ze szkieletowymi i konwencjonalnymi daje zróżnicowane rozwiązania przestrzenne

i architektoniczne. W systemach mieszanych stosowane są często szkieletowe elementy stalowe, żelbetowe, fibrobetony ze zbrojeniem rozproszonym, elementy keramzytobetonowe, elementy CLT, drewno klejone, lekkie szkielet drewniany, laminaty z włókien szklanych, lekkie płyty warstwowe itd. [8, 10]. Przykłady to: 18-kondygnacyjny budynek Mjøstårnet w Brumunddal w Norwegii (proj. Voll Arkitektur), wykonany w technologii częściowej prefabrykacji z elementów drewna klejonego i CLT, w połączeniu ze stropami wylewanymi z betonu na miejscu budowy [10] oraz osiedle 8-kondygnacyjnych budynków mieszkalnych wykonanych przez Unihouse, Heimdalsporten, Trondheim w Norwegii.

Korzystnym rozwiązaniem wydają się przestrzenne systemy modułowe – wolumetryczne, które przy zastosowaniu zaawansowanych technologii wymagają relatywnie niewielkiej ilości energii przy produkcji, zapewniają dużą izolacyjność termiczną i akustyczną, umożliwiają magazynowanie w konstrukcji obiektów dwutlenku węgla. Cechuje je również podnoszenie efektywności środowiskowej dzięki możliwości doboru materiałów proekologicznych i stosowaniu dodatków wiążących zanieczyszczenia. Do materiałów wykończeniowych, elewacyjnych dodawane bywają domieszki fotokatalizatora na bazie dwutlenku tytanu, który neutralizuje zanieczyszczenia, w tym tlenki azotu, siarki itd. [11].

W przypadku budynków modułowych istnieje możliwość ponownego wykorzystania modułów, przeniesienia i zaadaptowania ich w innej lokalizacji oraz możliwość wykorzystania elementów z odzysku przy stosunkowo łatwym montażu i demontażu. To wpisuje je w paradygmat gospodarki cyrkularnej i cenne inicjatywy programu Buildings as material banks (BAMB), związane z budowaniem zaplecza dla wtórnego wykorzystania elementów budowlanych [9]. Dobry przykład mógłby stanowić Nakagin Capsule Tower, zrealizowany w 1972 roku jako pierwszy w świecie budynek z wbudowanymi modułami, które w założeniu miały być wymieniane po 25 latach. Niestety azbest użyty do ich realizacji obecnie wyklucza takie rozwiązanie.

Zalety konstrukcji modułowej widoczne są również przy realizacji prac związanych z rozbudową i modernizacją istniejących obiektów. Ich sztywność i mniejszy ciężar w porównaniu z tradycyjnymi rozwiązaniami oraz szybkość realizowanych prac pozwalają (wykorzystując gotowe elementy i moduły) nadbudowywać i rozbudowywać obiekty, nie przerywając ich normalnego funkcjonowania. Przykładem są realizowane przez firmę Climatic prace związane z rozbudową obiektu szpitala w Luneburgu w Niemczech [12] oraz realizowana w Polsce przez firmę Unihouse nadbudowa i rozbudowa szkoły w Pruszkowie.

Technologie prefabrykowane stają się powszechne zwłaszcza w krajach Europy Zachodniej oraz w krajach skandynawskich.

W ostatnich latach w Niemczech zbudowano ok. 28 tys. mieszkań w technologii prefabrykacji żelbetowej, co stanowi ok. 11% rynku [4]. Według danych portalu Delux Modular w Szwecji zbudowano 84% prefabrykowanych domów jednorodzinnych, w Japonii 28%, a w Holandii 20% [4]. Natomiast w Polsce, gdzie trend ten dopiero się rozwija, w tym czasie liczba tak realizowanych mieszkań powiększyła się z 250 w 2016 r. do ok. 10 tys. w roku 2020, co stanowi 0,2% i 6,7% rynku. Dla porównania w 2017 roku w Niemczech powstało aż 10 tys. prefabrykowanych budynków [4].

Należy podkreślić, że polskie firmy realizują wiele kontraktów na dostawę elementów do budowy obiektów modułowych do krajów skandynawskich, Niemiec i innych. Stąd przekonanie, że w Polsce istnieje dobre zaplecze dla inwestycji z wykorzystaniem takich technologii.

Za granicą często podkreśla się niskie koszty inwestycji realizowanych w systemach prefabrykacji, które wynikają z powtarzalności i unifikacji elementów, krótszego czasu realizacji, ale również mniejszego nakładu fizycznej pracy, która, co ważne, staje się w tych technologiach bezpieczniejsza. W Polsce nadal koszty są porównywalne z realizacjami tradycyjnymi lub wyższe.

## Podsumowanie

Prefabrykacja na przestrzeni ostatnich kilku dekad zyskuje coraz większe znaczenie jako sposób na postęp w zrównoważonym budownictwie. Prowadzone badania [13,14] niezbicie dowodzą, że zastosowanie w architekturze prefabrykacji i modułowości czyni proces budowania bardziej przyjaznym dla środowiska [9]. Dokładna organizacja cyklu dostaw, organizacja placu budowy, składowania, kompletowania elementów prefabrykowanych wpływa na skrócenie czasu budowy, ograniczenie zużycia energii i surowców, możliwości powtórnego wykorzystania, jak też

ograniczenie liczby zatrudnionych pracowników budowlanych oraz podniesienie jakości i bezpieczeństwa pracy.

W kontekście nurtu Nowego Europejskiego Bauhausu (NEB), gospodarki cyrkularnej i budownictwa proekologicznego, w odpowiedzi na kryzysy geopolityczne, klimatyczne, w sytuacjach konieczności szybkiego zapewnienia dużej liczby mieszkań – koncepcja budownictwa prefabrykowanego i modułowego staje się rozwiązaniem konkurencyjnym. Jako powiązanie elementów rozbieżnych, które mogą ewoluować, mogą być przezwyciężone na inne miejsca lub stanowić budulec dla nowych realizacji, przy relatywnie niedużych nakładach energetycznych i istotnym ograniczeniu liczby odpadów budowlanych, prefabrykacja staje się najsukcesywniejszą alternatywą dla budownictwa konwencjonalnego i racjonalnej przyszłości kreowania środowiska zbudowanego.

## Bibliografia

- [1] Lewicki B., Budynki mieszkalne z prefabrykatów wielkometryrowych. Budownictwo-Sztuka-Architektura, Wyd. Arkady. Warszawa 1964, s. 10–11, 60–61.
- [2] Gronostajska B., 2010, Zespoły mieszkaniowe z wielkiej płyty w XXI wieku – problemy i perspektywy, „Architecturae et Artibus”, nr 2.
- [3] Tofiluk A., 2022, Forma budynków modułowych, „Z: A” 87, wrzesień – październik, s. 044–052.
- [4] Kirschke P., Sietko D., 2022, Modularność w Polsce i w Niemczech, „Z: A” 87, wrzesień – październik.
- [5] Unihouse – materiały promocyjne.
- [6] Raport Mc Kinsey [w]: Turek B., Wielka płyta wraca do task. Zachód pokochał domy z prefabrykatów, <https://forsal.pl/artykuly/1457280,wielka-plyta-wraca-do-lask-zachod-pokochal-domy-z-prefabrykatow.html> [dostęp: 25.06.2023].
- [7] Perkowski T., 2022, Modułowe budynki wielorodzinne, „Z: A” 87, wrzesień – październik, s. 026.
- [8] Orchowska A., 2020, Rola prefabrykacji w kształtowaniu architektury mieszkaniowej XXI wieku, „Housing Environment” 32/2020, e-ISSN 2543-8700.
- [9] Płoszaj-Mazurek M., 2022, Prefabrykacja w architekturze zrównoważonej, „Z: A” 87, wrzesień – październik, s. 054-059.
- [10] Fangrat J., Sieczkowski J., 2017, Budownictwo innowacyjne. Technologie prefabrykowane i modułowe w budownictwie mieszkaniowym, „Builder”, nr 58.
- [11] Knetz P., 2019, Prefabrykacja jutra, „Z: A” 70, listopad – grudzień, s. 076.
- [12] Climatic, materiały promocyjne firmy.
- [13] Quale J., Eckelman M.J., Williams K.W., Sloditskie G., Zimmerman J.B., 2012, Construction matters: Comparing Environmental Impact of Buildings Modular and Conventional Homes in the United States, „Journal of Industrial Ecology”, 16(2), s. 243–253.

[14] Jiang Y., Zhao D., Wang D., Xing Y., 2019, Sustainable Performance of Buildings through Modular Prefabrication in the Construction Phase: A Comparative Study, „Sustainability”, 11, s. 5658.

DOI: 10.5604/01.3001.0053.9265

PRAWIDŁOWY SPOSÓB CYTOWANIA  
Majerska-Pałubicka Beata, 2023, Racjonalna przyszłość architektury – prefabrykacja, „Builder” 11 (316). DOI: 10.5604/01.3001.0053.9265

**Streszczenie:** Prefabrykacja w rozwiązaniach architektoniczno-budowlanych to odzwierciedlenie w środowisku zbudowanym, spotykanej w przyrodzie, idei powtarzalności. Łączą środowisko przyrody ze środowiskiem zbudowanym w uporządkowaną całość. Z aktualnie prowadzonych badań wynika, że przy wykorzystywaniu procesów prefabrykacji osiągnąć można istotne korzyści dotyczące podnoszenia efektywności w zakresie ekonomii, ekologii i jakości życia, a przy kreatywnym i świadomym podejściu do procesu inwestycji efekty projektowania i budowania z prefabrykowanych elementów również mogą być atrakcyjne dla otoczenia, podobnie jak to ma miejsce w przyrodzie.

**Słowa kluczowe:** architektura, prefabrykacja, systemy modułowe, gospodarka cyrkularna,

**Abstract: THE RATIONAL FUTURE OF ARCHITECTURE – PREFABRICATION.** Prefabrication in architectural and building solutions, is a reflection of the idea found in nature of repetition in the built environment. It connects the natural environment with the built environment in an ordered whole. Current research shows that when prefabrication processes are used, significant efficiencies in terms of economy, ecology and quality of life can be achieved, and with a creative and conscious approach to the investment process, the results of designing and building with prefabricated elements can also be attractive to the environment, just as they are in nature.

**Keywords:** architecture, prefabrication, modular systems, circular economy,