

dr inż. Tomasz Piotrowski^{1*)}

ORCID: 0000-0002-2547-7601

prof. dr hab. inż. Piotr Woyciechowski¹⁾

ORCID: 0000-0002-8127-7559

dr inż. Grzegorz Adamczewski¹⁾

ORCID: 0000-0001-8994-8639

Prefabrykowane budownictwo modułowe

Prefabricated modular construction

DOI: 10.15199/33.2022.04.09

Streszczenie. W artykule podjęto próbę uporządkowania terminologii związanej z cieszącym się coraz większym zainteresowaniem budownictwem modułowym oraz wskazanie potencjału stosowania obiektów modułowych w praktyce. Omówiono charakterystykę techniczną budownictwa modułowego. Przedstawione przykłady pokazują zrealizowane w Polsce w ostatnich latach obiekty użyteczności publicznej oraz jednorodzinne.

Słowa kluczowe: prefabrykacja; budownictwo modułowe; moduł; nowoczesna architektura.

Abstract. The article attempts to organize the terminology related to the increasingly popular modular construction and to indicate the potential of using modular objects in practice. Technical characteristics of modular construction are discussed. The presented examples show public and single-family buildings constructed in Poland in recent years.

Keywords: prefabrication; modular construction; module, modern architecture.

Coraz większe zainteresowanie prefabrykacją [1] obserwowane jest obecnie w Polsce w wielu sektorach budownictwa. Tradycyjne zalety prefabrykatów, w tym szybkość wznoszenia obiektów, bardzo dobra jakość produkcji, uniezależnienie jej od warunków pogodowych i dostępności siły roboczej sprawiły, że w obecnych kryzysowych czasach prefabrykacja odpowiada potrzebom chwili. Wśród branych pod uwagę rozwiązań pojawia się także koncepcja budownictwa modułowego, które sprawdziło się na świecie przy budowie tymczasowych obiektów służby zdrowia (fotografia 1), związanych z kryzysem pandemicznym.



Fot. 1. Szpital modułowy w Legnicy przeznaczony dla pacjentów chorych na COVID-19

Źródło: Climatic Photo 1. Modular hospital in Legnica, intended for patients suffering from COVID-19

Stan wiedzy technicznej i przepisów dotyczących budownictwa modułowego nie jest w pełni klarowny i prowadzi do wielu nieporozumień oraz błędnych interpretacji, np. podczas postępowań przetargowych. Celem artykułu jest próba uporządkowania terminologii oraz wskazanie potencjału stosowania obiektów modułowych w praktyce.

¹⁾ Politechnika Warszawska; Wydział Inżynierii Lądowej

^{*} Adres do korespondencji: t.piotrowski@pw.edu.pl

Specyfika budownictwa modułowego

Budownictwo prefabrykowane obejmuje bardzo duży zakres technologii, rozwiązań materiałowych oraz zastosowania prefabrykatów. Ostatnio obserwuje się coraz większe zainteresowanie tzw. budownictwem modułowym, głównie ze względu na możliwości realizacji obiektów mieszkalnych, biurowych, usługowych oraz technicznych w tempie szybszym, niż umożliwia typowa technologia z użyciem poszczególnych elementów prefabrykowanych montowanych na budowie.

Termin „modułowy” pochodzi od słowa „moduł”, który zgodnie ze słownikiem języka polskiego pod red. Doroszewskiego oznacza element pełniący ustaloną funkcję, łatwy do wykorzystania jako część większej całości. W tym kontekście nie należy mylić określenia *modułowy* z określeniem *modułarny*, które oznacza „na bazie modułu”, czyli np. projektowanie na podkładzie siatki o oczkach kwadratowych, których wielkość boku wynosi jeden moduł.

Technologia modułowa to technologia montażu obiektów kubaturowych z modułów, czyli przestrzennych, trójwymiarowych (wolumetrycznych) segmentów o wybranym materiałowym rozwiązaniu konstrukcji nośnej (konstrukcji podłogi, ścian, dachu). Moduły charakteryzują się dużym stopniem prefabrykacji – są produkowane jako fabrycznie gotowe elementy konstrukcyjne, często wyposażone także w akcesoria związane z ich funkcją użytkową. Dostarcza się je na miejsce wbudowania w postaci dużych elementów przestrzennych stanowiących istotne elementy budynku, takie jak całe pomieszczenia, części pomieszczeń lub oddzielne jednostki o wysokim poziomie użyteczności, np. toalety lub szachty windowe.

Zbiór oddzielnych modułów tworzy samonośną konstrukcję lub, w przypadku budynków wysokich, może opierać się na niezależnej ramie konstrukcyjnej. Przez połączenie modułów powstaje budynek modułowy projektowany jako trójwymiarowa konstrukcja, możliwa do przetransportowania na miejsce w trójwymiarowych lub płaskich opakowaniach. W celu właściwego zrozumienia nazwy „technologia modułowa” należy określić charakterystykę modułów. Wynika

z niej, że **moduły to segmenty o dużych gabarytach oraz wysokim stopniu prefabrykacji** (tzn. moduły muszą być wykonane przed wbudowaniem). Nie są nimi zarówno prefabrykaty drobnowymiarowe (np. cegły, kształtowniki stalowe), średniowymiarowe (np. słupy, rygle, dźwigary, płatwie, płyty warstwowe), jak i płaskie układy poprzeczne (np. ramy, kratownice). W takim rozumieniu obiektami w technologii modułowej nie są zatem obiekty, które charakteryzują się powtarzalnością wymiarową modułów płaskich, takie jak np. stalowe hale modułowe, których szkielet bazuje na powtarzalności wymiarowej modułów w postaci ram płaskich lub przestrzennych.

O kwalifikacji materiałowej konstrukcji (stalowa, żelbetowa, ...) decyduje materiał, z jakiego wykonane są elementy nośne. W celu zakwalifikowania obiektu lub modułu jako konstrukcji np. żelbetowej, wszystkie jego elementy nośne (konstrukcyjne) powinny być wykonane z żelbetu. Nie można mówić o konstrukcji żelbetowej, gdy część jej elementów nośnych jest wykonana z innego materiału, np. kompozytu lub stali. W takim wypadku należy mówić o konstrukcji mieszanej lub hybrydowej.

Budownictwo modułowe w przepisach budowlanych

Właściwe zdefiniowanie technologii modułowej ułatwiają publikacje polskie i zagraniczne dotyczące budownictwa prefabrykowanego [2 – 8] oraz dokumenty techniczne [9 – 12], takie jak ETAG 023 wydany w 2006 r., czyli europejskie wytyczne dotyczące aprobat technicznych na prefabrykowane budynki modułowe, opracowane jako wspólne wytyczne dotyczące aprobat zgodnie z dyrektywą 89/106/EWG (CPD).

W SCI P302 [9] wskazano, że *konstrukcja modułowa wykorzystuje wstępnie zaprojektowane jednostki wolumetryczne, które są instalowane na miejscu jako zamontowane i serwisowane moduły konstrukcyjne*. Z kolei w SCI P272 [10] napisano, że „konstrukcja modułowa” to termin używany do określenia *produkowanych fabrycznie gotowych elementów konstrukcyjnych, które są dostarczane na miejsce i montowane jako duże elementy objętościowe lub jako istotne elementy budynku*. *Poszczególne moduły mogą tworzyć całe pokoje, części pokoi lub oddzielne jednostki o wysokim poziomie użyteczności, takie jak toalety lub windy*. *Zbiór oddzielnych modułów zwykle tworzy samonośną konstrukcję lub, w przypadku wysokich budynków, może opierać się na niezależnej ramie konstrukcyjnej*.

Charakterystyka techniczna obiektów modułowych

Cechą wyróżniającą obiekty w technologii modułowej jest wykonanie ich z przestrzennych, trójwymiarowych, wolumetrycznych modułów, a z całą pewnością cechami wyróżniającymi NIE są:

- możliwość wyróżnienia (rozdzielenia) stref użytkowych do poszczególnych części budynku (poziom funkcjonalności), gdyż praktycznie w każdym budynku można wyróżnić tego typu strefy;

- wykonanie układu konstrukcyjnego (konstrukcji nośnej) z powtarzalnych ram w jednakowych rozstawach (poziom substruktury), np. stalowe hale modułowe, w których określe-

nie modułowe odnosi się do powtarzalności strukturalnej i wymiarowej (moduł budowlany);

- stosowanie powtarzalnych elementów lub zespołów elementów, np. słupów, belek itp. (poziom poszczególnych elementów i zespołów elementów), czyli prefabrykatów; obiekty takie należy nazywać obiektami prefabrykowanymi, a nie modułowymi, pomimo tego, iż każdy prefabrykat może być definicyjnie uznany za swego rodzaju moduł, czyli element pełniący ustaloną funkcję, łatwy do wykorzystania jako część różnych większych całości. Nie każdy jednak prefabrykat jest przestrzennym, trójwymiarowym, wolumetrycznym elementem, który po wbudowaniu tworzy obiekt modułowy.

Oczywiście obiekty wykonane w technologii modułowej mogą wykazywać wymienione cechy, ale ich występowanie nie jest determinujące w aspekcie klasyfikacji jako obiektów modułowych. Podobnie, cechą wyróżniającą konstrukcję szkieletową jest to, że jej głównymi elementami nośnymi (konstrukcyjnymi) są na ogół smukłe elementy (słupy, belki) żelbetowe, drewniane lub stalowe, połączone odpowiednimi węzłami przegubowymi lub sztywnymi. Stanowią one wspólnie szkielet nośny, ale samo występowanie słupów i belek w konstrukcji nie jest warunkiem wystarczającym, aby uznać ją za konstrukcję szkieletową.

Obiekt wykonany w technologii modułowej charakteryzuje się wyższym stopniem technologiczności niż tradycyjny obiekt prefabrykowany. Jest to zgodne z klasyfikacją podaną już w latach osiemdziesiątych XX w. [13], w której ustalano następujące mierniki oraz stopnie technologiczności (od najniższego do najwyższego) ogólnego kształtu elementu:

4° elementy płytowe, belkowe i słupowe w postaci graniastosłupów;

3° elementy płytowe, belkowe i słupowe w postaci graniastosłupów o ciągłej perforacji modularnej (np. płyty stropowe wielokanałowe) oraz płaskie płyty żebrowane o siatce prostokątnej i jednokierunkowym układzie żeber z ewentualnymi żebrami poprzecznymi zamykającymi gabaryt;

2° elementy o charakterze powłok profilowanych, elementy płytowe, belkowe i słupowe o wielokrotnie łamanych powierzchniach płaskich lub o powierzchniach krzywoliniowych oraz proste elementy przestrzenne,

1° elementy przestrzenne o rozwiniętej formie.

Charakterystykę technologii modułowej przedstawiono w tabeli.

Przykłady realizacji

Wymieniony we wstępie przykład realizacji obiektów w technologii modułowej nie wyczerpuje wszystkich możliwości. Inwestycje realizowane bez tak wielkiej presji czasu, jak szpitale polowe, mogą być atrakcyjne architektonicznie pomimo naturalnych ograniczeń technologii. Wśród przykładów znajdują się obiekty o przeznaczeniu medycznym (fotografia 2), które nie są obiektami tymczasowymi, jak tzw. szpitale covidowe, ale w pełni funkcjonalnymi budynkami szpitalnymi (rysunek). W gęstej zabudowie miejskiej możliwe jest też wykonanie nadbudowy modułowej na istniejącym budynku szpitala, jak w Opolu, gdzie w nadbudowie mieści się dodatkowy blok operacyjny, sala przygotowania i wybudze-

Charakterystyka technologii modułowej

Modular technology characteristic

Cecha techniczna	Charakterystyka budownictwa modułowego
Dominujący materiał głównej konstrukcji nośnej	drewno, stal, żelbet, kompozyty polimerowe, kombinacja powyższych (hybrydowo)
Stopień prefabrykacji	podstawowy – surowa konstrukcja, zaawansowany – konstrukcja z wykończeniem powierzchniowym, wysoki – konstrukcja z wykończeniem, instalacjami i wyposażeniem funkcjonalnym
Budowa przestrzenna modułów	moduł składa się z pionowych elementów konstrukcji nośnej i przegród poziomych (strop, podłoga)
Powtarzalność elementów	moduły przestrzenne o różnych funkcjach, ale o modularnym układzie wymiarów
Efektywność montażu	skrócony do minimum czas uzyskania użyteczności obiektu (montaż konstrukcji, montaż instalacji)
Możliwość reusingu	konstrukcja modułów sprzyja ograniczeniu uszczerbku dla ich konstrukcji przy demontażu

nia pacjenta, a także serwerownia oraz instalacja gazów medycznych (fotografia 3). Kontenery nie mają tak wielkiego ciężaru, jak budownictwo tradycyjne, który musi przenieść stary budynek, a ponadto taka nadbudowa jest dużo łatwiejsza i szybsza w realizacji oraz mniej uciążliwa dla pacjentów funkcjonującego szpitala.

W całej Polsce znajdują się przedszkola i szkoły modułowe, gdyż samorządy już jakiś czas temu dostrzegły ogromny potencjał tego typu obiektów i możliwość dostosowania ich do swoich lokalnych potrzeb (fotografia 4). Co ciekawe, modułowe obiekty mogą być w standardzie pasywnym, jak np. przedszkole w Podkowie Leśnej (fotografia 5). Popularność budownictwa modułowego może zwiększyć ostatnia nowelizacja Prawa budowlanego. Wprowadziło ono uproszczoną procedurę budowy domów jednorodzinnych o powierzchni do 70 m², która wydaje się być skrojona na tego typu obiekty.



Fot. 2. Szpital modułowy w Sieradzu

Photo 2. Modular hospital in Sieradz

Źródło: Climatic



Szpital modułowy w Sieradzu – rzut funkcjonalny

Modular hospital in Sieradz – functional plan

Źródło: Climatic



Fot. 3. Nadbudowa modułowa szpitala w Opolu

Photo 3. Modular superstructure of the hospital in Opole

Źródło: Climatic



Fot. 4. Kompleks żłobkowo-przedszkolny w Kielczewie, gmina Długoleka

Photo 4. Nursery and kindergarten complex in Kielczewo, Długoleka

Źródło: Climatic



Fot. 5. Modułowe przedszkole pasywne w Podkowie Leśnej

Photo 5. Modular passive kindergarten in Podkowa Leśna

Źródło: Climatic

Jedna z prac nagrodzonych w niedawno rozstrzygniętym konkursie organizowanym przez Ministerstwo Rozwoju i Technologii we współpracy z Głównym Urzędem Nadzoru Budowlanego, to budynek modułowy (fotografia 6).



Fot. 6. Dom modułowy – projekt MWTechnic/Climatic nagrodzony w konkursie MRiT na projekt domu do 70 m²

Photo 6. Modular house – design MWTechnic/Climatic awarded in the MRiT competition for a house design up to 70 m²

Źródło: www.gunb.pl

Podsumowanie

Rozwój technologii oraz inwencja projektantów i architektów służą zwiększeniu atrakcyjności formy obiektów, co pozwala znaleźć im szersze zastosowanie niż dotychczas. Podstawową zaletą budownictwa modułowego jest uzyskiwanie docelowej użyteczności obiektu w czasie ograniczonym do absolutnego minimum. Jest to kluczowe w sytuacjach kryzysowych, kiedy np. wymagane jest uruchomienie szpitali dla znacznej liczby osób, zapewnienie zaplecza socjalnego dla uchodźców w przypadku konfliktu zbrojnego lub też stworzenie możliwości szybkiej odbudowy infrastruktury mieszkalnej po zniszczeniach wojennych.

Dziękujemy firmie Climatic Sp. z o.o. Sp.k. za udostępnienie do publikacji fotografii zrealizowanych obiektów modułowych.

Literatura

- [1] Adamczewski G, Woyciechowski P. Prefabrykacja – jakość, trwałość, różnorodność, vol. Z. 1, Warszawa, Stowarzyszenie Producentów Betonów, ISBN 978-83-941005-6-8, 2014.
- [2] Szulc J, Sieczkowski J. Przyszłość technologii modułowych w budownictwie. Inżynier Budownictwa. 2020; 5, 82 – 86.
- [3] Runkiewicz L, Szulc J, Sieczkowski J. Ewolucja budownictwa prefabrykowanego w Polsce. Przegląd Budowlany. 2020; 10, 12 – 15.
- [4] Runkiewicz L, Szulc J, Sieczkowski J. Współczesne budownictwo modułowe kontynuatorem budownictwa wielkopłytowego. Budownictwo i Prawo. 2020; 3, 3 – 8.
- [5] Fangrat J, Sieczkowski J. Budownictwo innowacyjne: technologie prefabrykowane i modułowe w budownictwie mieszkaniowym. Builder, 2017; 12, 58 – 61.

[6] Łukasik M. Budownictwo modułowe – szansa dla istniejących budynków polskiej służby zdrowia? Środowisko Mieszkaniowe. 2015; 14, 148 – 157.

[7] Lacey AW, Chen W, Hao H, Bi K. Structural response of modular buildings – An overview. Journal of Building Engineering. 2018; 16, 45 – 56, <https://doi.org/10.1016/j.job.2017.12.008>.

[8] Correia LG, Vicente R, Azenha M, Ferreira TM. A systematic review of Prefabricated Enclosure Wall Panel Systems: Focus on technology driven for performance requirements, Sustainable Cities and Society. 2018; 40, 688 – 703, <https://doi.org/10.1016/j.scs.2017.12.027>

[9] SCI P302 Modular Construction using Light Steel Framing. Design of Residential Buildings. https://www.steelconstruction.info/images/2/2f/SCI_P302.pdf, 01.04.2022.

[10] SCI P272 Modular Construction using Light Steel Framing. An Architect's Guide. https://www.steelconstruction.info/images/f/fd/SCI_P272.pdf, 01.04.2022.

[11] SCI P284 Modular Construction in Building Extensions. https://www.steelconstruction.info/images/b/ba/SCI_P284.pdf, 01.04.2022.

[12] SCI P348 Building Design Using Modules. https://www.steelconstruction.info/images/6/67/SCI_P348.pdf, 01.04.2022.

[13] Sadowski Z. Technologiczność prefabrykowanych obiektów żelbetonowych. Arkady. 1983.

Przyjęto do druku: 07.04.2022 r.



Instytut Techniki Budowlanej

ZAKŁAD KONSTRUKCJI BUDOWLANYCH, GEOTECHNIKI I BETONU



PROWADZIMY BADAŃIA WEDŁUG PN, EN, ISO, WYTYCZNYCH ETA ORAZ WŁASNYCH METOD:

łączników

stali i wyrobów stalowych

betonu i jego składników

wyrobów ceramicznych, betonowych oraz konstrukcji murowych i prefabrykatów

elementów wyposażenia obiektów budowlanych

gruntów i podłoża gruntowego



WYKONUJEMY:

rozpoznawanie podłoża dla potrzeb posadowień obiektów budowlanych

ekspertyzy konstrukcji budowlanych oraz badania diagnostyczne in situ

symulacje komputerowe z zakresu mechaniki budowli oraz modelowanie współpracy podłoża z konstrukcją z wykorzystaniem modeli przestrzennych (3D)

ekspertyzy obiektów budowlanych podlegających wpływom eksploatacji górniczej

oceny przydatności terenów górniczych do zabudowy

nadzory geotechniczne na budowach i specjalistyczne roboty geotechniczne

nadzory budowlane na terenach objętych wpływami eksploatacji górniczej



Prowadzimy prace badawcze ukierunkowane na ich wdrożenie i zastosowanie w praktyce

Prowadzimy szkolenia z zakresu projektowania, badań i certyfikacji betonu towarowego

Opracowujemy WTWiORB, instrukcje, wytyczne, poradniki i inne

Instytut Techniki Budowlanej | ZAKŁAD KONSTRUKCJI BUDOWLANYCH, GEOTECHNIKI I BETONU

e-mail: konstrukcje@itb.pl, e-mail: beton@itb.pl | adres: 00-611 Warszawa, ul. Filtrowa 1 |

e-mail: geotechnika@itb.pl | adres: 02-656 Warszawa, ul. Ksawerów 21 |

e-mail: katowice@itb.pl | adres: 40-153 Katowice, al. W. Korfantego 191 |

