

Mieszkania dla młodych – nowe idee

Andrzej Tokajuk

<https://orcid.org/0000-0002-7532-6414>

a.tokajuk@pb.edu.pl

Wydział Architektury, Politechnika Białostocka

Streszczenie: W niniejszym artykule przedstawiono wyniki badań prowadzonych na Wydziale Architektury Politechniki Białostockiej. Celem badań było opracowanie koncepcji dostępnej zabudowy mieszkaniowej dla osób młodych, przy zaimplementowaniu modułowej metody realizacji takich struktur mieszkaniowych. Jako metody pracy przyjęto „research by design” oraz metodę analityczną, którą wykorzystano do analizy literatury dotyczącej współczesnych standardów mieszkań dostępnych i struktur modułowych. Wybór technologii modułowej był podyktowany koniecznością obniżenia kosztów wznoszenia budynków i struktur mieszkaniowych oraz aspektami energooszczędności i zrównoważonego rozwoju.

Słowa kluczowe: mieszkania dla młodych, moduł, architektura, mieszkania dostępne

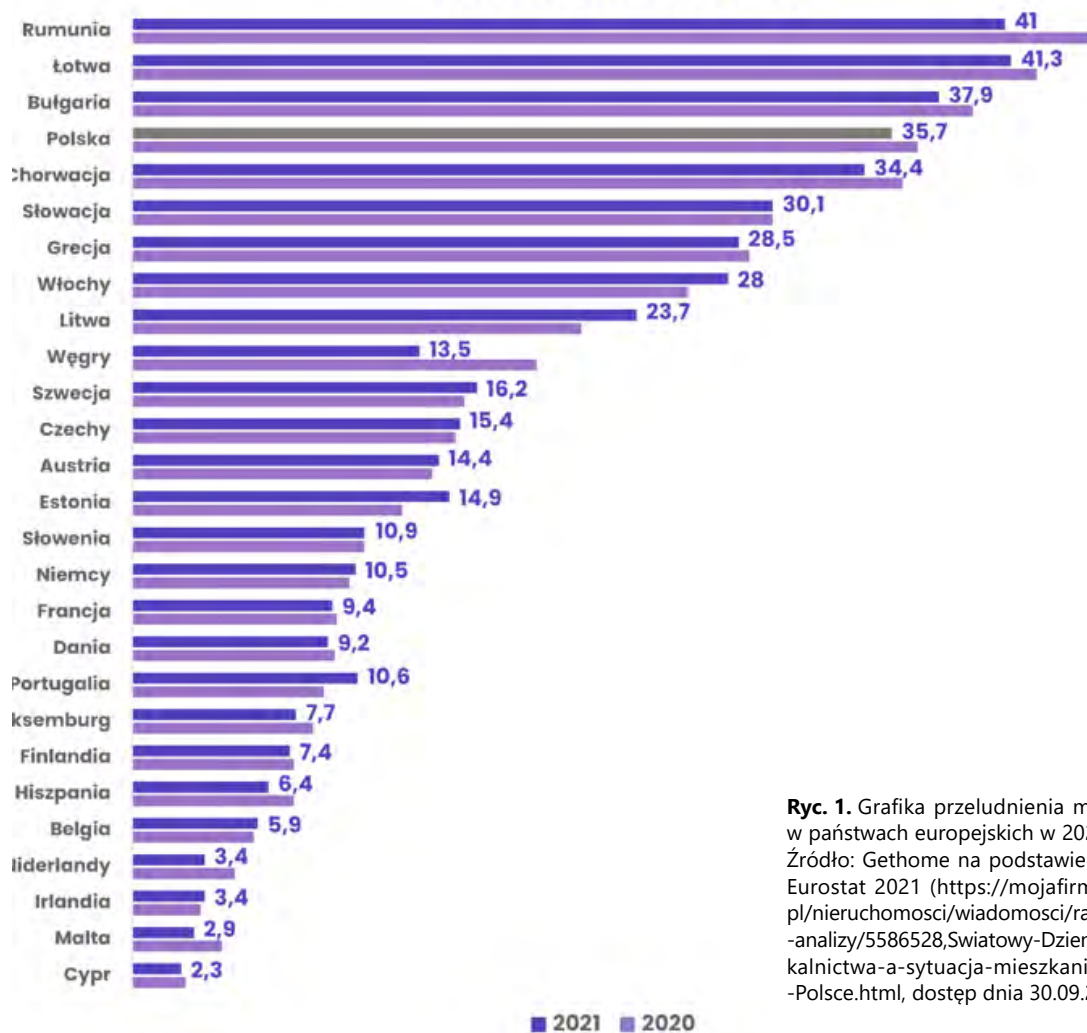
Wstęp

Obecnie – na początku trzeciej dekady 21. wieku – wiele krajów europejskich przeżywa poważny kryzys na rynku mieszkaniowym, którego przyczyny są złożone, ale skutki bardzo bolesne. Ceny mieszkań zarówno na rynku pierwotnym jak i wtórnym od kilku lat rosły, a w ciągu 2022 roku wręcz poszybowały w górę. Okres pandemii spowodował spadek produkcji materiałów budowlanych, ale potem – kiedy sytuacja się ustabilizowała, nastąpił gwałtowny popyt na materiały budowlane i związany z nim wzrost cen. Dodatkowo sytuację w mieszkalnictwie bardzo skomplikował wybuch wojny w Ukrainie. Wzrost cen energii także wpłynął na ceny materiałów budowlanych i budowę mieszkań, duże migracje ludności w Europie spowodowały skokowy wzrost zapotrzebowania na wynajem mieszkań. W Europie, gdzie w wielu krajach istniał stosunkowo słaby przyrost naturalny, nagle okazało się, że mieszkań brakuje, ich wynajem jest bardzo drogi, a kredyty hipoteczne – z powodu bardzo wysokiej inflacji i wzrostu stóp procentowych do poziomów nienotowanych od kilkudziesięciu lat – stały się niedostępne.

Zjawisko drożyny mieszkań jest bardzo groźne zwłaszcza dla młodego pokolenia, w tym również w Polsce. Pomimo tego, że w ostatnich latach liczba budowanych mieszkań w naszym kraju była stosunkowo wysoka (w 2021 roku wybudowano 235 tys. lokali mieszkalnych¹), to popyt na mieszkania był bardzo duży. Jednak złożona sytuacja ekonomiczno-społeczno-polityczna doprowadziła do tego, że mieszkania stały się zwłaszcza dla młodych ludzi niedostępne, a ich zdolność kredytowa – znacząco spadła. Trzeba pamiętać, że według danych statystycznych Unii Europejskiej, ok. 40% młodych ludzi w Polsce w przedziale wiekowym 25–29 lat mieszka razem z rodzicami, często w przeludnionych mieszkaniach. Ogólny odsetek ludności mieszkającej w przepelnionych mieszkaniach wyniósł w Polsce w 2021 roku ponad 35% (Ryc. 1).

1 Na podstawie danych GUS za rok 2021.

Odsetek ludności mieszkającej w przepelnionych mieszkaniach (w %)



Ryc. 1. Grafika przeludnienia mieszkań w państwach europejskich w 2021 roku. Źródło: Gethome na podstawie danych Eurostat 2021 (<https://mojafirma.infor.pl/nieruchomosci/wiadomosci/raporty-i-analzy/5586528,Swiatowy-Dzien-Mieszkalnictwa-a-sytuacja-mieszkania-w-Polsce.html>, dostęp dnia 30.09.2022)

Na tym tle innowacyjne, eksperymentalne i ekonomicznie dostępne koncepcje zabudowy mieszkaniowej dla osób młodych – w tym gospodarstw domowych jednoosobowych i dwuosobowych – wydają się szczególnie ważne. Celem badań było opracowanie koncepcji dostępnej zabudowy mieszkaniowej dla osób młodych, przy zaimplementowaniu modułowej metody realizacji takich struktur mieszkaniowych. Jako metodę pracy przyjęto „research by design”, którą poprzedzono szeroką analizą literatury dotyczącej współczesnych standardów mieszkań dostępnych oraz analizą już zrealizowanych struktur prefabrykowanych, w tym modułowych. Wybór technologii modułowej był podyktowany koniecznością obniżenia kosztów wznoszenia budynków i struktur mieszkaniowych oraz aspektami energooszczędności i zrównoważonego rozwoju.

Mieszkania dla młodych – geneza, stan badań, realizacje

Zagadnienie projektowania rozwiązań funkcjonalno-przestrzennych zabudowy mieszkaniowej dedykowanej dla osób młodych jest stosunkowo nowe. Do początku 21. wieku ta problematyka zazwyczaj wchodziła w szerszy obszar – projektowania i realizacji mieszkań dla osób mniej zamożnych, nazywanych także mieszkaniem

dostępny. Jednak od kilkunastu lat w niektórych krajach europejskich mieszkania dla młodych ludzi przybierają formy oddzielnych, specjalnych programów, stają się elementem rewitalizacji zdegradowanych obszarów miast, jak też tematem prac badawczo-eksperymentalnych. Przykładem takiego programu badawczego była współpraca w tym zakresie pięciu europejskich szkół architektonicznych (z Barcelony, Stuttgartu, Białegostoku, Liverpoolu i Brukseli), prowadzona w latach 2004–2006, nt. „Emerging forms of housing and living in 21st century Europe” [A. Tokajuk, 2006]. Współpraca ta była kontynuowana także w latach następnych, w ramach programu UE Oikonet, a Wydział Architektury Politechniki Białostockiej brał w niej aktywny udział. Od tego też czasu na Wydziale Architektury w Białymstoku prowadzone są prace badawcze realizujące różne aspekty koncepcji mieszkań dla młodszej grupy użytkowników – od aspektów funkcjonalnych, konstrukcyjno-technologicznych po zagadnienia organizacji form przestrzennych, a także badania preferencji mieszkaniowych młodych ludzi. W ramach prowadzonych badań wypracowano m.in. kilka potencjalnych modeli zamieszkania w szczególności dedykowanych dla osób młodych:

1. Mieszkanie w zespole wielofunkcyjnym.
2. Poszukiwanie właściwych relacji przestrzeni prywatnej, półprywatnej, półpublicznej i publicznej, ze szczególnym zwróceniem uwagi na kształtowanie przestrzeni wspólnych.
3. Model zamieszkania preferujący infrastrukturę technologiczną jako priorytet w rozwiązaniu przestrzeni mieszkania.
4. Model zamieszkania silnie związany z infrastrukturą komunikacyjną i samochodem, który pełni ważną rolę w życiu i psychice młodych ludzi [A. Tokajuk, 2009].

Technologie prefabrykowane i modułowe – wczoraj i dziś

Początki budownictwa modułowego należy datować na lata trzydzieste dziewiętnastego wieku. Pierwszym udokumentowanym domem z prefabrykatów była konstrukcja zrealizowana przez angielskiego stolarza Johna Manninga (przewieziona do Australii przez jego syna). Rozwój masowej realizacji budynków wielorodzinnych („mass housing”) nastąpił w epoce modernizmu w wieku dwudziestym. W szkole Bauhausu w Niemczech były już próby projektowania domów szkieletowych (Richard Paulick, Georg Muche – projekt Stalhaus), a idee głoszone przez W. Gropiusa, Le Corbusiera, ale także przez architektów w innych krajach doprowadziły do rozkwitu nurtu nowoczesnego w architekturze i urbanistyce, do rozwoju poglądów na temat wprowadzania w mieszkalnictwie nie tylko prefabrykowanych materiałów budowlanych, ale zastosowania prefabrykacji na szeroką skalę w celu optymalizacji kosztów realizacji budynków wielorodzinnych dla wielkich grup społecznych (Walter Gropius projektuje m.in. „large scale building blocks”) [A. Cobbers, O. Jahn, 2010]. Powstanie CIAM w 1928 roku skonsolidowało środowisko architektów a problematyka budowy mieszkań i osiedli z użyciem technologii uprzemysłowionych stała się pierwszoplanowa na długie lata. Jednak rozwój tego typu budynków nastąpił po II wojnie światowej. W krajach bloku wschodniego, w tym w Polsce w latach 60. i 70., realizacja mieszkań została zdominowana przez technologie wielkopłytkowe. Niestety, polskie doświadczenia w tym zakresie nie okazały się dobre. Nie budowaliśmy tanio ani funkcjonalnie, a katalog wyrobów wielkopłytkowych okazał się bardzo ograniczony. Poziom estetyki i bardzo duża powtarzalność budynków prefabrykowanych oszpeciły przestrzeń naszych miast. Ostatecznie technologie wielkopłytkowe zostały wycofane w latach 80. dwudziestego wieku. Dziś posiadamy znacznie bardziej udoskonalone technologie i możliwości prefabrykacji zarówno elementów jak też wytwarzania różnych modułów mieszkalnych. Większe możliwości skłaniają do poszukiwań i projektowania alternatywnych struktur mieszkaniowych. Już w latach 60. i 70. dwudziestego wieku takie eksperymenty projektowe Habitat 67 w Montrealu architekta Moshe Safdiego, budynek Nakagin Tower architekta Kisho Kurokawy w Tokio wyznaczyły pewien trend twórczych poszukiwań, który trwa do dziś [K. Frampton, 2007]. Na przełomie lat 60. i 70. dwudziestego wieku w krajach zachodnich pojawiło się kilka interesujących koncepcji domów modułowych, np. Futuro (1968–78) i Venturo (1971) autorska fińskiego architekta Matti Suuronena [A. Cobbers, O. Jahn, 2010]. W tym okresie realizowano w krajach europejskich (w tym w Polsce) projekty prefabrykowanej zabudowy wielorodzinnej, np. Terrassenhaussiedlung housing w Grazu (Austria), autorstwa biura Werkgruppe Graz [M. Szyszkowitz, R. Ilsinger, 2004]. Dzisiejsze uwarunkowania ekonomiczne powodują, że trend poszukiwań i badań nowych form zabudowy mieszkaniowej jest również aktualny, uzasadniony i pożądany.

Analiza literatury przedmiotu pokazuje, że obecnie badacze zajmujący się problematyką prefabrykacji i zabudowy modułowej wyróżniają 4 grupy budynków prefabrykowanych: obiekty realizowane na podstawie projektów typowych („domy z paczki”), budynki panelowo-płytowe (wznoszone w technologii żelbetowej, ale też drewnianej szkieletowej, CLT, itp.), budynki skonstruowane z elementów przestrzennych (modułów) – inaczej zwane strukturami wolumetrycznymi oraz budynki zaprojektowane w technologiach mieszanych, łączące różne elementy wspomniane powyżej (tzw. budynki hybrydowe) [A. Tofiluk, 2020]. W tym zestawieniu ciekawie prezentują się obiekty projektowane z nowoczesnych paneli oraz modułów przestrzennych trójwymiarowych. W ten sposób realizowane są m.in. budynki biurowe, domy jednorodzinne i wielorodzinne. Technologie panelowe można odnaleźć w realizacjach skandynawskich, niemieckich, holenderskich, amerykańskich, ale też w Polsce, m.in. w projektach firm Unihouse, Danwood, itp. Konstrukcje modułowe realizuje się dzisiaj w miastach europejskich jako domy studenckie i miasteczka kontenerowe (np. Container city w Londynie, akademiki w Amsterdamie), jako inne budynki mieszkalne (np. Wozoco w Holandii), szybko budowane szpitale (np. w Wuhan w Chinach), budynki w trudnych strefach klimatycznych.



Ryc. 2. Miasteczko studenckie w Amsterdamie skonstruowane z kontenerów mieszkalnych – widok. Źródło: fotografia autora

Konstrukcje modułowe w dwudziestym pierwszym wieku zyskują coraz większą popularność. Do ich wykonania wykorzystuje się różne technologie: lekki szkielet drewniany, drewniane płyty konstrukcyjne CLT, włókno szklane, szkielet stalowy, konstrukcje ramowe z drewna klejonego, szkielet żelbetowy oraz konstrukcje mieszane. Trzeba pamiętać, że zastosowanie lekkich technologii zmniejsza zużycie betonu i stali – budynek modułowy może mieć znaczenie mniejszą masę od tradycyjnego. Wyróżniamy dwa sposoby ustawiania elementów konstrukcyjnych w module: sposób pierwszy, gdzie panele ścian ustawione są na stropie dolnym i związane stropem górnym, oraz drugi – w którym panele ścian przytwierdza się do boków stropów. Technologia procesu produkcyjnego ogranicza długości i szerokości modułów. Ich długość nie przekracza 16 metrów, szerokość – 5 metrów. Ze względu na możliwości transportu i przepisy w poszczególnych krajach projektuje się moduły nie szersze niż 4,0–4,2 m.

Koncepcja modułowych struktur zabudowy wielorodzinnej dla osób młodych

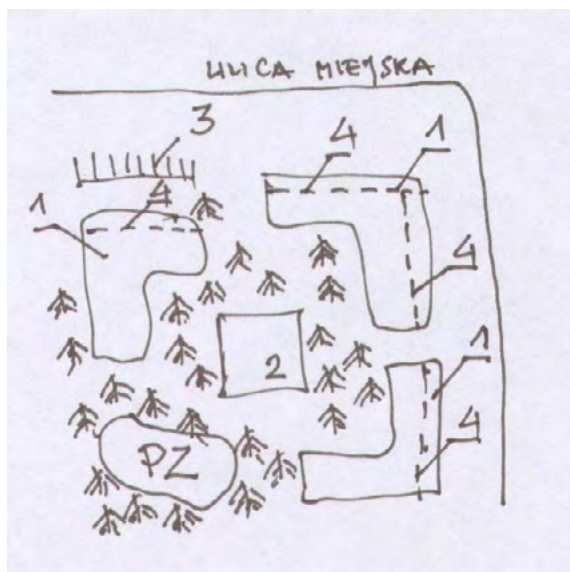
Po wykonaniu studium literatury oraz analizy technologii i możliwości technicznych w drugim etapie prac badawczo-projektowych rozpoczęto studia nad koncepcją struktur mieszkaniowych dla osób młodych. Autor pracy sformułował następujące założenia:

- koncepcja będzie bazować na kilku różnych typach modułów mieszkalnych (minimum dwóch);
- konstrukcja modułów – lekki szkielet drewniany;
- konstrukcja struktury – szkielet stalowy;

- zaplanowanie przestrzeni usługowych w parterze obiektu;
- struktura wielofunkcyjna z elementów przestrzennych (wolumetrycznych);
- w zespole funkcje: mieszkanie – praca – rekreacja;
- teren kwartału zielony, zadrzewiony;
- drzewa jako ważny element planowanego środowiska mieszkaniowego dla osób młodych;
- na terenie struktury mieszkaniowej – place zabaw i inne przestrzenie wspólnego użytkowania.

Urbanistyka zespołu

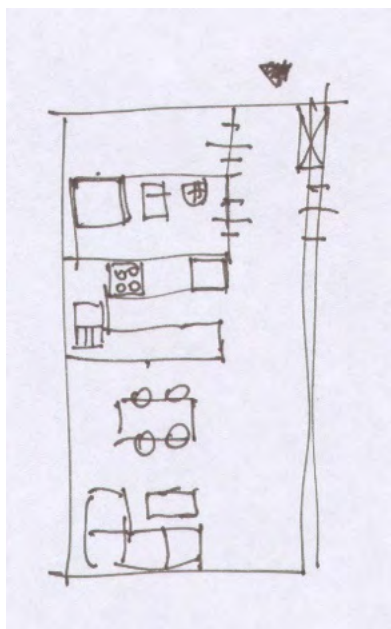
W ramach prowadzonych badań zaproponowano pewien model zamieszkania oparty na strukturach modułowych, zlokalizowanych w zadrzewionych, zielonych kwartałach miejskich. Ideą przewodnią kwartału jest jego wielofunkcyjność. Struktury takie mogłyby tworzyć dośrodkowe układy przestrzenne. Wewnątrz takiego kwartału zlokalizowano przestrzeń półpubliczną – w tym przypadku obiekt o charakterze sportowym, np. kryte boisko do gier zespołowych. W kwartale zaprojektowano też plac zabaw dla dzieci (zakłada się zamieszkanie młodych małżeństw z dziećmi). Zaplanowano też ograniczoną liczbę miejsc parkingowych – autor badań skłania się do założenia jako priorytetu korzystania z transportu publicznego oraz rowerów (Ryc. 3).



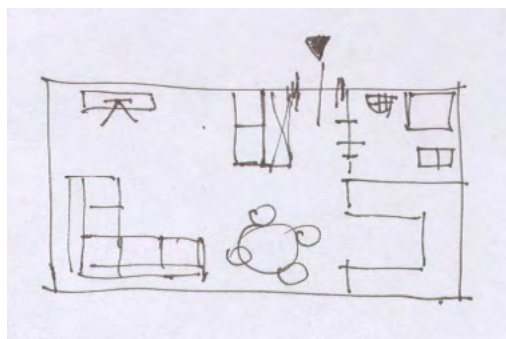
Ryc. 3. Szkic schematu wielofunkcyjnego kwartału ze strukturami mieszkalnymi dla osób młodych. Oznaczenia: 1 – struktury elementów przestrzennych, 2 – obiekt rekreacji, np. sportowy lub kort/boisko, 3 – miejsca parkingowe, 4 – przestrzenie lokalizacji usług, PZ – plac zabaw dla dzieci. Całe założenie w terenie zadrzewionym. Źródło: szkic A. Tokajuk

Koncepcje modułów

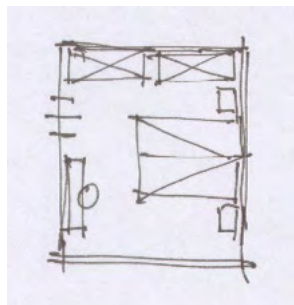
W efekcie prac nad podjętym zagadnieniem opracowano pięć modułów mieszkalnych. Dwa pierwsze to moduły podstawowe, w układzie podłużnym, o powierzchni użytkowej 30 metrów kwadratowych. Każdy z nich zawiera strefę dzienną i może tworzyć samodzielne mieszkanie dla 1 osoby. Te moduły różnią się od siebie usytuowaniem okien. Moduł nr 1 posiada okna w krótszej ścianie (Ryc. 4), moduł nr 2 – okna w ścianie podłużnej (Ryc. 5). W obu przypadkach wymiary wewnętrzne to 3,75×8 m. Moduł nr 3 – to moduł sypialny o powierzchni użytkowej 15,0 metrów kwadratowych i wymiarach wewnętrznych 3,75×4,0 m (Ryc. 6). Moduły można łączyć i uzyskać mieszkania o powierzchni odpowiednio 45,0 metrów kwadratowych lub 60,0 metrów kwadratowych. Moduł nr 2 – tutaj strefa dzienna będzie najlepiej doświetlona. Moduły nr 4 i nr 5 mają inne proporcje – są krótsze i węższe od poprzednich, ale za to razem mogą tworzyć mieszkanie o dużym poziomie funkcjonalności na powierzchni 30,0 metrów kwadratowych (Ryc. 7).



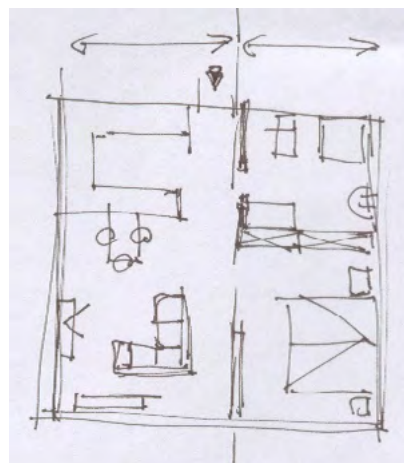
Ryc. 4. Schemat modułu mieszkalnego nr 1. Źródło: szkic A. Tokajuk



Ryc. 5. Schemat modułu mieszkalnego nr 2. Źródło: szkic A. Tokajuk



Ryc. 6. Schemat modułu mieszkalnego nr 3. Źródło: szkic A. Tokajuk

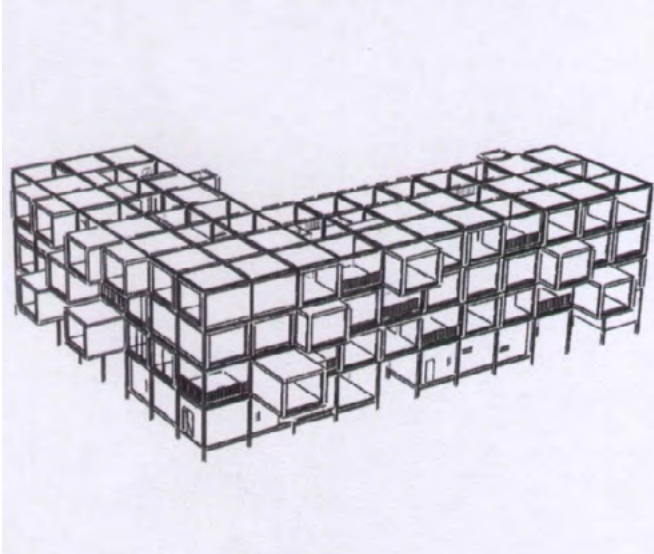


Ryc. 7. Schemat połączonych modułów mieszkalnego nr 4 i nr 5. Źródło: szkic A. Tokajuk

Koncepcja konstrukcji i struktury

Konstrukcję zabudowy dla osób młodych zaplanowano jako mieszaną. Prostokątne moduły rozwiązano w technologii lekkiego szkieletu drewnianego. Moduły są przewidziane jako konstrukcje trójwymiarowe, składane w fabryce i przewożone w całości na plac budowy. Ich montaż odbywać się będzie za pomocą dźwigu – będą układane wg schematu w specjalnie skonstruowanym szkielecie z profili stalowych. Można dostrzec tutaj inspiracje pomysłami Le Corbusiera (Jednostka Marsylska) czy budynkiem Silodamu biura MVRDV z Amsterdamu. Opracowana koncepcja wykazuje jednak duże różnice – przestrzeń komunikacji poziomej jest większa – w założeniu większe przestrzenie zostały zaplanowane dla spotkań sąsiedzkich mieszkańców. Ułożenie

modułów jest specyficzne – propozycja zakłada wysunięcie części modułów poza obrys siatki słupów. Na rysunku (Ryc. 8) pokazano strukturę przestrzenną w kształcie litery „L”, możliwe są też inne układy. Niestety – okazało się podczas prac badawczych, że wysunięcia modułów powodują duże problemy konstrukcyjne, wymagają podwieszania lub podpierania wystających elementów. Niezbędne jest poszukiwanie innych układów kompozycyjnych elementów modułowych – najprostszy z nich to ułożenie modułów jeden na drugim bez przesunięć. Ten problem, tak jak szczegóły detali połączeń wymagają dalszych badań. W pustych przestrzeniach elementów stalowych planuje się poprowadzenie infrastruktury mediów.



Ryc. 8. Rysunek struktury przestrzennej w kształcie „L” z ułożonymi modułami. Źródło: szkic student M. Juskiewicz pod kierunkiem dr inż. A. Tokajuka



Ryc. 9. Rysunek przykładowej kondygnacji w kształcie „L” z ułożonymi modułami. Źródło: szkic student M. Juskiewicz pod kierunkiem dr inż. arch. A. Tokajuka

Forma architektoniczna



Ryc. 10. Wizualizacja formy architektonicznej z wysuniętymi modułami. Źródło: szkic student M. Juskiewicz pod kierunkiem dr inż. arch. A. Tokajuka

Na koniec opracowania wykonano studium formy architektonicznej sformułowanej na bazie koncepcji rzutu poziomego. Poniżej zaprezentowano wariant bryły struktury, której motywem przewodnim są wysunięcia niektórych elementów modułowych. Struktura mieszkalna stała się bardzo dynamiczna, odpowiadająca charakterem

swoim młodym mieszkańcom. Forma wynika z konstrukcji i z kompozycji elementów wolumetrycznych. Dodatkowo formę wzbogacono o detale kolorystyczne. W elewacjach modułów zaplanowano szalunki drewniane bejcowane (Ryc. 10).

Podsumowanie

Przeprowadzone badania studialne i projektowe dotyczące rozwoju form zabudowy modułowej dla osób młodych dały interesujące rezultaty. Studia literaturowe pozwoliły na uporządkowanie stanu badań dotyczących tego zagadnienia. Sformułowano nową oryginalną koncepcję zabudowy, w której zweryfikowano przydatność zaprojektowanych modułów do kształtowania większych struktur, zgodnie z przyjętymi wcześniej założeniami. Analiza pozwoliła na zauważenie pozytywnych aspektów sformułowanej koncepcji – do nich należy zaliczyć ekonomiczność rozwiązania (uprzemysłowiony sposób konstrukcji), szybkość budowy, możliwość transportu, demontażu i montażu w innej lokalizacji. Przyjęty moduł umożliwia uzyskanie standardu użytkowego na podstawowym poziomie, ale z możliwością rozbudowy i dodawania elementów, bardzo dobre – w ocenie autora – wydaje się być założenie koncepcji urbanistycznej zgodne z paradygmatami zrównoważonego rozwoju. Rozwiązanie architektoniczne struktury obiektu przynosi interesujące efekty, ale badania wykazały w tym miejscu kilka problemów. Znaczne wysunięcia modułów powodują duże problemy konstrukcyjne, moduły trzeba podpierać lub dodatkowo podwieszać. Nasuwa się wniosek, że należy zmierzać do ograniczania lub eliminowania wysunięć. W kolejnym etapie badań należy szukać innych wariantów kompozycji elementów modułowych w rzucie poziomym – przyjęty w koncepcji układ generuje zbyt duże powierzchnie komunikacji. Badania dowiodły, że w module podłużnym otrzymujemy słabsze oświetlenie pomieszczeń w wariantach nr 1 z uwagi na znaczną głębokość traktu, lepsza jest funkcjonalność połączonego wariantu modułów nr 4 i nr 5, kiedy połączone elementy tworzą prostokąt o proporcjach zbliżonych do kwadratu. Wykonane badania studialne dowiodły, że potrzebne są dalsze prace w tym zakresie, m.in. zmierzające do korekty kompozycji rzutu, architektury obiektu, rozwiązania szczegółów konstrukcji modułów i ich połączeń, a w końcowym efekcie do budowy prototypowego modelu w skali 1:1. Proponowany typ zabudowy może również znaleźć inne praktyczne zastosowanie, np. jako szybko budowane schronienie dla osób poszkodowanych w czasie klęsk żywiołowych, epidemii lub dla osób migrujących.

Badania zostały wykonane w ramach pracy badawczej Nr WZ/WA-IA/4/2020 finansowanej ze środków Ministerstwa Edukacji i Nauki RP na Wydziale Architektury Politechniki Białostockiej.

Bibliografia

- [1] Cobbers A., Jahn O., *Prefab Architecture*, Taschen, Koln 2010, s.158–184.
- [2] Frampton K., *Modern Architecture*, Thames &Hudson, London 2007, s. 283.
- [3] Szyszkowitz M., Ilsinger R., *Graz Architecture*, Haus der Architektur Graz, 2004, s. 114–115.
- [4] Tofiluk A., *Truth, Half-Truth, Untruth – the Strategies of Prefabricated Architecture Design*, [w]: *Defining the Architectural Space – The Truth and Lie in Architecture*, red. T. Kozłowski, Oficyna Wydawnicza Atut, Wrocław 2020, s. 81–92.
- [5] Tokajuk A., *Housing for Young People as a New Element in the City Structure*. *Best Practise of International Cooperation in Engineering Education*, *Global Cooperation in Engineering Education: Innovative Technologies, Studeis and professional Development – the Third International Conference Proceedings*, Kaunas 2009, s. 193–197.
- [6] Tokajuk A., *Mieszkania dla osób młodych – formy zabudowy na progu nowego wieku*, [w]: *Tendencje w kształtowaniu zabudowy mieszkaniowej współczesnych miast*; pod red. A. Tokajuk, H. Zaniewska, 2006, s. 54–62.
- [7] <https://mojafirma.infor.pl/nieruchomosci/wiadomosci/raporty-i-analizy/5586528,Swiatowy-Dzien-Mieszkalnictwa-a-sytuacja-mieszkaniowa-w-Polsce.html>, dostęp dnia 30.09.2022).

Housing for Young – New Ideas

Summary: This article presents the results of research conducted at the Faculty of Architecture of the Bialystok University of Technology. The aim of the research was to develop a concept of accessible housing for young people, with the implementation of a modular method of implementing such housing structures. The methods of work adopted were „research by design” and analytical method which was used to analyze the literature on contemporary standards of affordable housing and modular structures. The choice of modular technology was dictated by the need to reduce the costs of erecting buildings and housing structures as well as the aspects of energy efficiency and sustainable development.

Keywords: housing for young, modul, architecture, affordable housing

The research was carried out as part of work No. WZ/WA – IA/4/2020 at the Bialystok University of Technology and financed from a research subsidy provided by the Minister of Education and Science.