

Nowoczesna prefabrykacja wielkopłytkowa w budownictwie wielorodzinnym i apartamentowym. Praktyki, szanse i wyzwania

Modern large-panel prefabrication in multi-family and apartment buildings: practices, opportunities and challenges

Karol Nieradka^{1,*}

¹Biuro Projektowe maxberg, Szczecin, Poland

*corresponding author: K. Nieradka, e-mail: mail@maxberg.pl

Streszczenie

W artykule przedstawiono współczesne możliwości zastosowania prefabrykacji wielkopłytkowej w budownictwie wielorodzinnym. Omówiono rozwiązania technologiczne umożliwiające dostosowanie prefabrykowanych elementów betonowych do współczesnych wymagań architektonicznych i użytkowych, w tym integrację instalacji i przyłączy, stosowanie wielkopowierzchniowych przeszkleń oraz różnorodne sposoby kształtowania i wykończenia powierzchni. Przedstawiono również wybrane aspekty transportu, składowania i montażu elementów prefabrykowanych. Wskazano zalety technologii, takie jak skrócenie czasu realizacji, ograniczenie prac na placu budowy oraz wysoka jakość i powtarzalność wykonania. Omówiono także wyzwania związane z logistyką, koordynacją branżową i przygotowaniem projektu.

Słowa kluczowe: prefabrykacja wielkopłytkowa, budownictwo wielorodzinne, budownictwo apartamentowe, elementy prefabrykowane, montaż

Summary

The article presents contemporary possibilities for the application of large-panel prefabrication in multi-family housing. Technological solutions enabling precast concrete elements to be adapted to contemporary architectural and functional requirements are discussed, including the integration of building services and connections, the use of large-area glazing, and various methods of shaping and finishing surfaces. Selected aspects of the transportation, storage and assembly of precast elements are also presented. The advantages of the technology are highlighted, including shorter construction times, reduced on-site work, and high quality and consistency of execution. The challenges associated with logistics, interdisciplinary coordination and project preparation are also discussed.

Keywords: large-panel prefabrication, multi-family housing, apartment buildings, precast elements, assembly

1. Zalety, korzyści, potencjał

Prefabrykacja ścian żelbetowych wciąż kojarzy się w Polsce z budownictwem wielkopłytkowym, którego wszystkie zalety zostały przekreślone przez niedoskonałość technologiczną, często wadliwe wykonawstwo i nieciekawą, powtarzalną architekturę. Tymczasem nowoczesna prefabrykacja wielkopłytkowa daje szerokie możliwości twórcze i zapewnia wyższą jakość niż tradycyjne budownictwo. Elementy prefabrykowane wytwarzane są w hali produkcyjnej z pomocą wykwalifikowanej kadry, maszyn i robotów, przy zapewnieniu kontroli jakości i zgodności z obowiązującymi normami. Projekt każdej ściany powstaje w przestrzeni 3D. Modelowane są najdrobniejsze detale, zbrojenie, elementy instalacyjne, przepusty, gniazda i kotwy okienne. Produkcja jest niezależna od warunków atmosferycznych, a montaż zdecydowanie szybszy

1. Advantages, benefits and potential

In Poland, the prefabrication of reinforced concrete walls is still associated with large-panel construction, all the advantages of which were undermined by technological shortcomings, poor workmanship and monotonous, repetitive architecture. Modern large-panel prefabrication, however, offers broad design possibilities and provides higher quality than conventional construction. Precast elements are manufactured in a production hall with the use of qualified personnel, machinery and robots, under controlled quality conditions and in compliance with applicable standards. The design of each wall is developed in a 3D environment. Even the smallest details are modelled, including reinforcement, building-service components, penetrations, electrical boxes and conduits, as well as window anchors. Production is independent of weather

niż tradycyjne wznoszenie budynków. Realizowane obiekty nie wymagają czasu na wiązanie betonu ani osuszanie ścian i stropów. Budowa jest czysta, sucha i szybka. Wymaga też znacznie mniejszej liczby pracowników i oddzielnych ekip budowlanych, ponieważ za jednym razem przywożone są na budowę ściany zewnętrzne wraz z ociepleniem i warstwą elewacyjną, ściany działowe, schody, balkony oraz stropy. Wszystkie elementy mają już umieszczone puszki i peszle elektryczne, bruzdy pod instalacje sanitarne oraz konsole do szybkiego montażu stolarki okiennej.

Budynki prefabrykowane nie muszą już być nudne, powtarzalne ani prostopadłościowe. Każda ściana projektowana jest indywidualnie. Wielowarstwowość oznacza, że każdy element składa się z rdzenia nośnego, warstwy izolacyjnej z wełny mineralnej lub styropianu oraz ściany okładzinowej, która zapewnia ochronę przed uszkodzeniem mechanicznym i wpływem warunków atmosferycznych. Obie strony ściany są gładkie i równe, a instalacje elektryczne prowadzone są w peszlach, dzięki czemu nie ma potrzeby nakładania grubowarstwowych tynków lub bruzdowania. Wystarczy gładź szpachlowa. W połączeniu z cieńszą niż tradycyjny bloczek ścianą nośną [najczęściej 15 cm] pozwala to uzyskać większą powierzchnię użytkową przy tym samym obrysie zewnętrznym budynku. Bez straty na izolacyjności termicznej. Budynek wykończony żelbetową elewacją przypomina trójwarstwową ścianę np. z cegły klinkierowej, co wyraźnie wpływa na jego trwałość. Tradycyjna wyprawa „lekką mokra” może być mniej odporna na uszkodzenia i przebarwienia.

Zalety prefabrykacji docenili już dawno Skandynawowie. Koszt pracy ludzkiej oraz brak wykwalifikowanej kadry budowlanej już kilka dekad temu zmusiły ich do skracania czasu realizacji budowy, upraszczania montażu, minimalizowania ilości ekip budowlanych i optymalizowania procesu budowy. Ten czas nadszedł też

conditions, while assembly is considerably faster than conventional building construction. Completed structures do not require time for concrete curing or for drying walls and floors. Construction is clean, dry and fast. It also requires significantly fewer workers and separate construction crews, as exterior walls with insulation and fewer the façade layer, partition walls, stairs, balconies and floor slabs are delivered to the site together. All elements already contain electrical boxes and conduits, chases for sanitary installations, and brackets for the rapid installation of window frames.

Prefabricated buildings no longer have to be dull, repetitive or rectangular. Each wall is individually designed. The multilayer structure means that each element consists of a load-bearing core, an insulation layer made of mineral wool or expanded polystyrene, and a facing layer that protects against mechanical damage and the effects of weather conditions. Both sides of the wall are smooth and even, while electrical installations are routed through conduits, eliminating the need for thick-layer plastering or chasing. A skim coat is sufficient. Combined with a load-bearing wall that is thinner than a conventional block wall [typically 15 cm], this makes it possible to obtain a larger usable floor area within the same external building footprint, without compromising thermal insulation. A building finished with a reinforced concrete façade resembles a three-layer wall, for example one made of clinker brick, which significantly enhances its durability. The traditional external thermal insulation and render system may be less resistant to mechanical damage and discolouration.

The advantages of prefabrication have long been appreciated in Scandinavia. The cost of labour and the shortage of skilled construction workers forced the Scandinavian countries, several decades ago, to shorten construction times, simplify assembly, minimise the number of construction crews and optimise the building process. The time has now come for Poland as well. Almost every major contractor complains about staff shortages and a sharp increase in wage expectations. Developers are seeking to shorten project completion times, even at the expense of a longer design phase. The costs of designing and optimising documentation are significantly lower than the costs associated with changes to and delays in construction schedules. The costs of equipment and crane rental, security, supervision, engineering staff, loan interest and potential modifications to work that has already been completed are incomparably higher than even the



Rys. 1. Ściana prefabrykowana przygotowywana w hali produkcyjnej.

Fig. 1. Precast wall being prepared in the production hall.



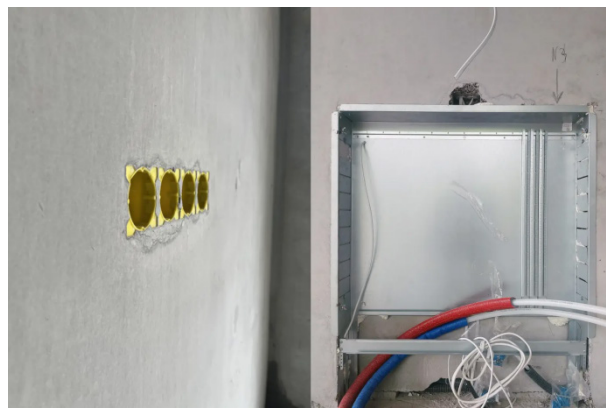
Rys. 2. Ściana prefabrykowana składowana na budowie na specjalnym stelażu.

Fig. 2. Precast wall stored on a dedicated support frame at the construction site.

w Polsce. Niemal każdy duży wykonawca narzeka na brak kadry i skokowy wzrost oczekiwań płacowych. Deweloperzy oczekują skrócenia czasu realizacji projektów nawet kosztem dłuższego etapu projektowania. Koszty projektowania i optymalizacji dokumentacji, są bowiem znacznie niższe niż koszty zmiany i przesunięcia harmonogramów na budowie. Koszt wynajmu sprzętu, dźwigów, ochrony, nadzoru, pracy kadry inżynierskiej, odsetki kredytowe i ewentualne zmiany wykonanych już prac są nieporównywalnie większe niż najbardziej mozolne nawet zmiany projektowe.

2. Zalety prefabrykacji ciężkiej

- Oszczędność czasu – ściany wielowarstwowe to przede wszystkim brak szalunków, zbrojenia i robót mokrych na budowie. To praktycznie uniezależnia wykonawcę od warunków atmosferycznych. Brak prac zbrojarskich na placu budowy, brak wylewania, wiązania i pielęgnacji betonu, brak prac tynkarskich i wykańczania i malowania elewacji [rys. 1].
- Oszczędność miejsca – znacznie mniejsze zaplecze budowy przez ograniczenie składowania materiałów budowlanych. Ściany są sukcesywnie dostarczane na budowę na specjalnych naczepach i montowane na bieżąco [rys. 2].
- Szybki montaż i wykończenie – w ciągu jednego dnia roboczego można wyprodukować lub zamontować kilkadziesiąt ścian wewnętrznych i zewnętrznych. Ściany są suche, gładkie, mają zamontowane peszle i puszki elektryczne, nisze i bruzdy pod instalacje sanitarne oraz urządzenia elektryczne [rys. 3]. To minimalizuje późniejsze prace wykończeniowe.
- Oszczędność powierzchni użytkowej – ściany nośne [najczęściej grubości 15 cm] i działowe [6 – 12 cm] są cieńsze niż tradycyjna technologia murowana, bo nie wymagają tynkowania. Flizelina i gładź szpachlowa [łącznie <1 mm] wystarczają do wyprawienia powierzchni na gładko. To oszczędność kilku centymetrów grubości na każdej ścianie, co przekłada się na kilka procent powierzchni użytkowej więcej dla inwestora.
- Instalacje – nisze i bruzdy instalacyjne pozwalają ukryć w ścianach rozdzielacze ogrzewania podłogowego, skrzynki elektryczne i teletechniczne i podejścia do instalacji sanitarnych. Daje to większe możliwości aranżacyjne dla przyszłych właścicieli, zwiększa powierzchnię użytkową i poprawia estetykę wnętrza [rys. 3].
- Ściany wielowarstwowe wewnętrzne - w przypadku konieczności zapewnienia właściwości cieplnych lub akustycznych w przegrodach między pomieszczeniami, np. pomiędzy korytarzem a mieszkaniem, możliwe jest stosowanie ścian dwu- lub trójwarstwowych z warstwą termiczną i akustyczną. Ściana trójwarstwowa pozwala w takim przypadku wykorzystać dodatkową grubość warstwy osłonowej do ukrycia balustrad schodowych i innych elementów ściennych, co oszczędza "światło" przejścia ewakuacyjnego. Węższe klatki schodowe to więcej powierzchni użytkowej pozostałych pomieszczeń [rys. 4].



Rys. 3. Przykłady montażu instalacji i przyłączy w elementach prefabrykowanych.

Fig. 3. Examples of the installation of services and connections in precast elements.

most laborious design changes.

2. Advantages of heavy prefabrication

- Time savings – multilayer walls eliminate the need for formwork, reinforcement and wet works on site. This practically makes the contractor independent of weather conditions. There is no reinforcement work on site, no concrete placing, curing or maintenance, and no plastering, finishing or painting of façades [Fig. 1].
- Space savings – a significantly smaller construction site is required due to the limitation of on-site storage of building materials. Walls are delivered to the construction site progressively on special semi-trailers and installed as they arrive [Fig. 2].
- Fast assembly and finishing – several dozen internal and external walls can be manufactured or installed within a single working day. The walls are dry and smooth and already incorporate conduits and electrical boxes, as well as recesses and chases for sanitary and electrical installations [Fig. 3]. This minimises subsequent finishing work.
- Savings in usable floor area – load-bearing walls [typically 15 cm thick] and partition walls [6–12 cm] are thinner than those in traditional masonry construction because they do not require plastering. Non-woven fabric and skim coat [less than 1 mm in total] are sufficient to achieve a smooth surface finish. This saves several centimetres of wall thickness, translating into several percent more usable floor area for the investor.
- Building services – installation recesses and chases make it possible to conceal underfloor heating manifolds, electrical and telecommunications cabinets, and connections to sanitary installations within the walls. This provides future owners with greater interior arrangement flexibility, increases usable floor area and improves interior aesthetics [Fig. 3].
- Multilayer internal walls – where adequate thermal or acoustic performance is required for partitions between rooms, e.g. between a corridor and an apartment, two- or three-layer walls with thermal and acoustic insulation can be used. In such

- Instalacje elektryczne – peszle instalacyjne pozwalają na szybkie rozproszczenie okablowania w ścianach zarówno od strony podłogi, jak i sufitu. Osadzone puszki elektryczne pozwalają oszczędzić czas i zachować czystość na budowie, ponieważ eliminują konieczność bruzdowania i późniejszego szpaclowania ścian. Podejścia instalacyjne, ogromne i przyłączeniowe można prowadzić w przygotowanych bruzdach, niszach lub peszlach. Ewentualne zmiany lokatorskie są łatwe, ponieważ ściany działowe wykonywane są z keramzytobetonu, co pozwala na szybkie bruzdowanie.
- Okna – montaż okien, w odróżnieniu od tradycyjnej technologii, odbywa się od strony wewnętrznej. Pozwala to zachować estetycznie wykończone węgariki elewacyjne. Mniejsze zestawy okienne mogą być montowane w zakładzie prefabrykacji. Duże przeszklenia [np. od podłogi do sufitu] montuje się na budowie za pomocą kotew zatopionych w warstwie izolacyjnej ściany [rys. 5].
- Elementy dekoracyjne – każda ściana może być wyprodukowana jako jedno-, dwu- lub trójwarstwowa, a także w technologii mieszanej. Pozwala to nie tylko zachować niezbędne parametry izolacyjne i pożarowe przegród budowlanych [możliwość stosowania izolacji ze styropianu, wełny mineralnej, PIR itd.], ale także pomieścić inne elementy i okładziny elewacyjne w grubości ściany.
- Inne przegrody budowlane – balkony, stropy, elementy dachu, przepierzenia międzybalkonowe – wszystkie elementy mogą być wykonywane w zakładzie prefabrykacji w ramach tego samego dostawcy, projektanta i w tej samej jakości.
- Nietypowe formy – ściany i elementy żelbetowe mogą przybierać różne, w tym nieregularne kształty. Ściany półokrągłe, słupy o nieregularnych przekrojach, nietypowe biegi klatek schodowych – wszystkie elementy możliwe do szalowania są wykonalne w zakładzie prefabrykacji [rys. 6].
- Wykończenie – fakturę wykończeniową elementów można formować za pomocą różnych wzorów odcisków z mat silikonowych oraz technik obróbki powierzchni betonu, takich jak piaskowanie, śrutowanie czy wytrawianie kwasem solnym. Dzięki takim zabiegom powierzchnia betonu może uzyskać indywidualny charakter [rys. 7].
- Kolorystyka – beton może być barwiony zarówno w masie mieszanek, jak i natryskowo po związaniu. Każda z metod barwienia pozwala uniknąć konieczności malowania elewacji, a tym samym także kosztownego wynajmu rusztowań [rys. 8].

3. BIM w prefabrykacji

Nowoczesna prefabrykacja wymaga nowoczesnych narzędzi. Pełne wykorzystanie jej potencjału wymaga szczegółowego zaprojektowania wszystkich elementów, które można przygotować podczas produkcji prefabrykatów. Oznacza to konieczność określenia nie tylko wymiarów ścian czy stropów, ale także warstw, typów izolacji, wykończenia elewacji, detali osadzenia okien, umiejscowienia gniazd i łączników elektrycznych, bruzd pod instalacje sanitarne

cases, a three-layer wall allows the additional thickness of the protective layer to accommodate stair railings and other wall-mounted elements, preserving the clear width of an evacuation route. Narrower staircases mean more usable floor area in the remaining rooms [Fig. 4].

- Electrical installations – installation conduits enable rapid routing of cables within walls from both the floor and ceiling sides. Pre-installed electrical boxes save time and keep the construction site clean by eliminating the need for chasing and subsequent filling of walls. Installation connections, lightning protection and service connections can be routed through prepared chases, recesses or conduits. Tenant modifications are also straightforward because partition walls are made of lightweight aggregate concrete, which allows easy and rapid chasing.
- Windows – unlike in traditional construction, windows are installed from the interior side. This preserves the aesthetically finished façade reveals. Smaller window assemblies can be installed at the prefabrication plant. Large glazing units [e.g. floor-to-ceiling] are installed on site using anchors embedded in the wall insulation layer [Fig. 5].
- Decorative elements – each wall can be manufactured as a single-, double- or triple-layer element, as well as using hybrid technology. This makes it possible not only to maintain the required thermal insulation and fire performance of building partitions [with the possibility of using expanded polystyrene, mineral wool, PIR, etc.], but also to accommodate other elements and façade claddings within the wall thickness.
- Other building elements – balconies, floor slabs, roof elements and partitions between balconies can all be manufactured at the prefabrication plant by the same supplier and designer and to the same quality standards.
- Non-standard forms – reinforced concrete walls and elements can take various, including irregular, shapes. Semicircular walls, columns with irregular cross-sections and non-standard stair flights are all feasible, as all elements that can be formed using moulds can be manufactured at a prefabrication plant [Fig. 6].
- Surface finish – the finish texture of elements can be formed using various patterns made with silicone mould liners and concrete surface treatment techniques such as sandblasting, shot blasting and hydrochloric acid etching. These treatments give the concrete surface an individual character [Fig. 7].
- Colour – concrete can be coloured either throughout the mix or by spray application after hardening. Both colouring methods eliminate the need to paint the façade and, consequently, the costly rental of scaffolding [Fig. 8].

3. BIM in prefabrication

Modern prefabrication requires modern tools. If its full potential is to be exploited, all elements that can be prepared during the production of precast components must be designed in detail. This



Rys. 4. Wnęki do montażu poręczy pozwalające na oszczędność przestrzeni.

Fig. 4. Recesses for railing installation enabling space savings.



Rys. 5. Montaż przeszkleń o dużej powierzchni w elementach prefabrykowanych.

Fig. 5. Installation of large-area glazing in precast elements.



Rys. 6. Półokrągły element prefabrykowany.

Fig. 6. Semicircular precast element.

itp. Konieczne jest też przewidzenie elementów niezbędnych do prawidłowego montażu i transportu. Weryfikacja tak szczegółowych informacji byłaby trudna bez użycia wirtualnych modeli i ich koordynacji w przestrzeni 3D, czyli za pomocą technologii BIM [Building Information Modeling].

4. W praktyce

Możliwości technologiczne pozwalają, i jest to już praktyka, a nie teoria, modelować nie tylko wspomniane powyżej elementy, ale także zbrojenie, peszle elektryczne, elementy dekoracyjne na elewacji czy konsole do montażu stolarki otworowe. Tak przygotowane modele warsztatowe ścian, stropów, balkonów czy schodów są ze sobą zestawiane we wspólny model BIM, w którym projektanci sprawdzają poprawność elementów oraz identyfikują kolizje z instalacjami pozostałych branż: sanitarną, elektryczną,



Rys. 7. Przykładowa faktura powierzchni elementu prefabrykowanego.

Fig. 7. Example surface texture of a precast element.



Rys. 8. Elementy prefabrykowane malowane powierzchniowo.

Fig. 8. Surface-painted precast elements.

pożarową itd. Zatwierdzone modele trafiają do produkcji, gdzie na ich podstawie elementy prefabrykowane są wytwarzane w wysokim stopniu zautomatyzowany sposób, w warunkach trudnych do osiągnięcia na placu budowy.

5. Perspektywy rozwoju prefabrykacji

Powyższe przykłady udowadniają, że przyszłości budownictwa, w tym wielorodzinnego, należy upatrywać w technologiach, które pozwalają oszczędzić czas, pracę ludzi na placu budowy i zapewniają znacznie wyższą dbałość o detal wykonania. Oznacza to oczywiście konieczność poświęcenia czasu na szczegółowe projektowanie. Każdy element jest modelowany w przestrzeni 3D jako model BIM wraz ze zbrojeniem, puszkami i peszlami elektrycznymi czy wnękami instalacyjnymi. Zatwierdzone modele trafiają na produkcję i w sposób znacząco zautomatyzowany wykonywane są w warunkach nieosiągalnych na placu budowy, przez wyspecjalizowane zakłady produkcyjne. Budowa wirtualnego modelu pozwala na uniknięcie wielu błędów wynikających z koordynacji wszystkich branż, a to przekłada się na niższe koszty realizacji. Usunięcie błędu na etapie realizacji jest zazwyczaj znacznie bardziej kosztowne niż jego identyfikacja i korekta na etapie projektowania. Warto więc poświęcić środki na przemyślenie i optymalizację projektu przed rozpoczęciem prac budowlanych.

means defining not only the dimensions of walls or floor slabs, but also the individual layers, types of insulation, façade finishes, window installation details, locations of electrical outlets and connectors, chases for sanitary installations, etc. It is also necessary to anticipate the components required for proper assembly and transportation. Such detailed information would be difficult to verify without the use of virtual models and their coordination in a 3D environment, i.e. using Building Information Modeling [BIM] technology.

4. In practice

Technological capabilities make it possible – and this is already established practice rather than theory – to model not only the elements mentioned above, but also reinforcement, electrical conduits, decorative façade elements and brackets for the installation of windows and doors. The workshop models of walls, floor slabs, balconies and stairs prepared in this way are combined into a single shared BIM model, in which designers verify the correctness of the elements and identify clashes with other disciplines, including sanitary, electrical and fire protection systems. Once approved, the models are transferred to production, where the elements are manufactured in a highly automated manner by specialised production plants under conditions that cannot be achieved on a construction site.

5. Prospects for the development of prefabrication

The examples presented above indicate that the future of construction, including multi-family housing, lies in technologies that save time and reduce the amount of labour required on the construction site while ensuring significantly greater attention to construction details. This obviously requires time to be devoted to detailed design. Each element is modelled in a 3D environment as a BIM model, including reinforcement, electrical boxes and conduits, and installation recesses. Once approved, the models are transferred to production, where the elements are manufactured in a highly automated manner by specialised production plants under conditions that cannot be achieved on a construction site. Building a virtual model makes it possible to avoid many errors resulting from the coordination of all disciplines, which translates directly into actual project costs. Correcting an error on site is generally considerably more expensive than identifying and resolving it during the design stage. It is therefore worthwhile to allocate resources to carefully considering and optimising the design before construction work begins.