

Rola prefabrykacji betonowej w architekturze

The role of precast concrete in architecture

Przemysław Borek*, Ligia Szulc

Pekabex Bet S.A.

*Corresponding author: P. Borek: Przemyslaw.Borek@pekabex.pl

Streszczenie

Postęp technologiczny w budownictwie przejawia się zarówno w uprzemysłowieniu projektów budowlanych, jak i w produkcji prefabrykatów wysokiej jakości w złożonych projektach architektonicznych. Proces produkcyjny wymaga szczegółowego przygotowania. Rozpoczyna się już na etapie projektowania obiektu, który stanowi najważniejszą część procesu jego realizacji. Nastąpiło znaczne przesunięcie w czasochłonnym wykonaniu projektu technicznego obiektu w stosunku do samej produkcji prefabrykatów, a zwłaszcza realizacji samego obiektu. Zarządzanie produkcją i projektem odbywa się dzięki technologii BIM, która wspiera nie tylko proces produkcji, ale także fazę jego przygotowania. Dokumentacja techniczna uwzględnia zarówno modułowość elementów ścian i stropów, jak również właściwości fizyczne, chemiczne i wizualne betonu poszczególnych elementów prefabrykowanych. Dlatego rysunki techniczne obiektów muszą być przygotowane z uwzględnieniem ścisłej współpracy budowniczych i architektów.

Słowa kluczowe: architektura, beton, prefabrykacja betonowa, materiały ściennie, BIM

Summary

Technological progress in construction is manifested in both industrialization of construction projects and in the production of high-quality precast elements in complex architectural projects. The production process requires detailed preparation. It begins at the design stage of the facility, which is the most important part of the implementation process. There was a significant change in the time-consuming execution of the technical design of the facility, in relation to the production of precast elements and especially the implementation of the facility itself. Production and project management are carried out thanks to BIM technology, which supports not only the production process but also the phase of its operation. The technical documentation takes into account both the modularity of the wall and ceiling elements, as well as the physical, chemical, and visual parameters of the concrete of individual prefabricated elements. Therefore, the technical drawings of the facilities must be prepared taking into account the close cooperation of builders and architects.

Keywords: architecture, BIM, concrete, precast concrete, wall materials

1. Wprowadzenie

Gdyby człowiek poprzestał na wynalezieniu koła, to zapewne do dziś poruszałby się pojazdami zaprzęganymi w konie. W Muzeum Mercedesa w Stuttgarcie pierwszym eksponatem, jaki napotykają zwiedzający, jest realistyczna rzeźba konia. Podobnie jak historia przemieszczania, zmieniała się historia budownictwa.

Obiekty budowane przez człowieka na początku miały na celu jedynie spełniać określoną funkcję. Opanowano podstawowe techniki stawiania budynków. W starożytnym Egipcie, Babilonie i Mezopotamii zaczęto wykorzystywać cegły. Wiedzę na temat ich wyglądu czy technik stosowanych podczas budowania metropolii

1. Introduction

If man had remaining stopped at the invention of the wheel, he would probably still be moving around today in horse-drawn vehicles. At the Mercedes-Benz Museum in Stuttgart, the first exhibit visitors encounter is a realistic sculpture of a horse. Similarly to the history of transportation, the history of construction has changed.

Man-made buildings in the early days were only intended to fulfil a specific function. Basic building erection techniques were mastered. Bricks came into use in ancient Egypt, Babylon and Mesopotamia. We derive our knowledge of their appearance or the techniques applied in the construction of metropolises from



Rys. 1. Wrota Ishtar, Muzeum Pergamońskie w Berlinie (1)

Fig. 1. Gate of Ishtar, Pergamon Museum in Berlin (1)

czierpiemy z odkryć archeologów, gdyż niewiele starożytnych budowli przetrwało próbę czasu.

Prace prowadzone w Babilonie pozwoliły specjalistom na odkrycie, że miasto chronione było trzema rzędami murów wykonanych z cegły. Obwarowanie to posiadało wieże i bramy, a wśród nich znana powszechnie brama Ishtar, którą można oglądać w Muzeum Pergamońskim w Berlinie [rys. 1].

Także już Rzymianie w swoich budowlach wykorzystywali cegły i dachówki, choć miały zupełnie inny kształt niż obecnie. O tym, że były to dobrze wykonane budowle, może świadczyć wiele z powstałych jeszcze w antyku obiektów, które istnieją do dzisiaj.

Na przestrzeni wieków zmieniał się tzw. „składnik wiążący” spoiwa w poszczególnych elementach budowy. W starożytnym Egipcie funkcję tę pełnił kruszony gips, natomiast w Rzymie – zaprawa wapienna, a także popioły wulkaniczne. Użycie tego ostatniego składnika zapewniało wodoodporność materiału. Dodawano również odłamki płytek czy cegieł, dzięki którym poprawiano własności wiązania betonu. Rzymianie wykorzystywali wlewanie zaprawy między ściany wykonane z kamienia, wrzucając do tego mieszankę gruzu. Oczywiście część tych rozwiązań przejęli od Greków, którzy wykorzystali beton do wybudowania zbiorników z wodą w świątyniach Ateny, czy to w porcie Pireus, lub na wyspie Rodos.

Kolejnym etapem w rozwoju cywilizacyjnym i technicznym było zwrócenie uwagi na estetykę rozwiązań. Świadczyć mogą o tym między innymi zróżnicowane style kolumn: joński, dorycki czy koryncki [rys. 2].

Przykłady zabytków sztuki, w tym architektury, wykazują nie tylko ciągle znaczący postęp w pracach nad konstrukcją, ale także ogromne różnice w podejściu ludzkości do odbierania świata, wyrażane w następujących po sobie stylach: gotyku, renesansie, baroku, klasycyzmie czy secesji.

the discoveries of archaeologists, as few ancient buildings have stood the test of time.

Work carried out in Babylon allowed specialists to discover that the city was protected by three rows of walls made of brick. This fortification included towers and gates, among them the widely known Ishtar Gate which can be seen in the Pergamon Museum in Berlin [Fig. 1].

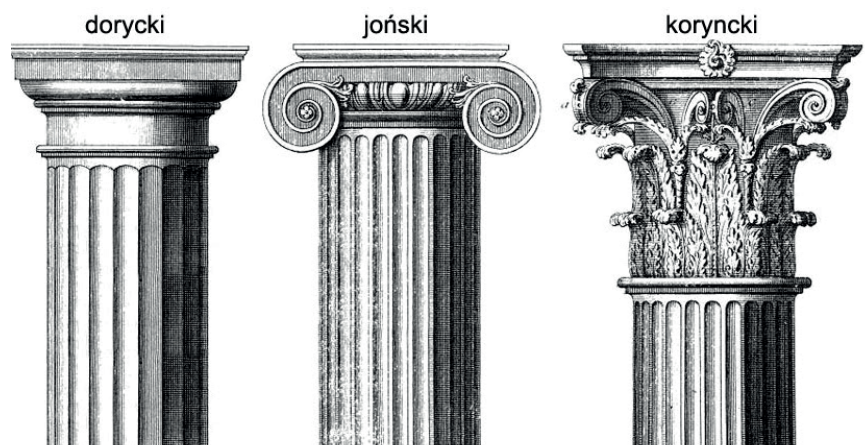
Also the Romans used bricks and roof tiles in their buildings, although in a completely different shape than today. The fact that these were well-crafted buildings can be seen from the fact that many of the structures created back in antiquity, still exist today.

Over the centuries, the so-called “binding component” of the binder of the individual building components has changed. In ancient Egypt, this function was served by crushed gypsum, while in Rome, lime mortar was used, as well as volcanic ash. The use of the latter ingredient ensured that the material was waterproof. Fragments of tiles or bricks were also added to improve the bonding properties of concrete. The Romans used to pour mortar between walls made of stone by throwing in a mixture of rubble. Obviously, they took some of these solutions from the Greeks, who used concrete to build the water tanks in the temples of Athena, whether in the port of Piraeus or on the island of Rhodes.

The next stage in the development of civilisation and technique was to pay attention to the aesthetics of solutions. This is evidenced, among other things, by the varied styles of columns: Ionic, Doric or Corinthian [Fig. 2].

Examples of art monuments, including architecture, demonstrate not only the continuing significant advances in the work in design, but also the vast differences in humankind’s approach to perceiving the world, expressed in the following styles: Gothic, Renaissance, Baroque, Classicism or Art Nouveau.

Further developments in building materials brought changes in the composition of binders and concrete. However, a significant breakthrough did not occur until the 19th century, when Portland



Rys. 2. Rodzaje antycznych kolumn greckich (2)

Fig. 2. Types of ancient Greek columns (2)

Dalszy rozwój materiałów budowlanych niósł zmiany w składzie spoiw i betonu. Znaczący przełom nastąpił jednak dopiero w XIX wieku, gdy w Anglii wynaleziono cement portlandzki, zawdzięczający swoją nazwę podobieństwu kolorystycznemu do wapienia portlandzkiego (3). Wynalazek dał większe możliwości w zakresie wytrzymałości i trwałości realizowanych obiektów, otworzył też możliwości przed nową technologią, jaką była prefabrykacja. Dzięki temu można było przenieść dużą część prac pod dach fabryki.

Co prawda historycy sztuki od lat prowadzą dysputy, który z projektów był pierwszym budynkiem prefabrykowanym w Europie, jednak najbardziej znaczący wkład dla rozwoju prefabrykacji przypisuje się Le Corbusierowi, który na początku XX wieku pracował nad możliwościami kształtowania przestrzeni w oparciu o znormalizowaną jednostkę konstrukcyjną.

2. Początki prefabrykacji w Polsce – czas eksperymentu i rozwoju technologii

Metody budownictwa przemysłowego były podstawą powstawania budynków mieszkalnych w XX wieku. Po pierwsze, w oparciu o kształt mieszkania i rodzaj budynku, określało się obowiązujące od wielu lat standardy mieszkaniowe. W okresie największego rozwoju technologii te standardy zapewniły Polakom aż siedem milionów mieszkań wielorodzinnych (4). Obecnie prefabrykacja w technologii betonu zyskuje coraz większe znaczenie jako nowoczesny materiał budowlany i jest coraz częściej stosowaną metodą wznoszenia budynków mieszkalnych. Ze względu na nowe możliwości jego zastosowania, nastąpiła zasadnicza zmiana w sposobie myślenia i kształtowania przestrzeni w miarę konstruowania elastycznych rozwiązań dla różnych odbiorców i wzrostu oczekiwań społecznych.

Idea prefabrykatów rozwijała się na przestrzeni ostatniego stulecia, początkowo w Europie Zachodniej, Francji, Szwecji i Finlandii. Na terenach polskich pierwszy zakład powstał w Białych Błotach jeszcze przed pierwszą wojną światową, a następnie prefabrykacja już po drugiej wojnie światowej została wprowadzona jako technologia częściowo kupowana od wschodniego sąsiada, a częściowo oparta na rozwiązaniach zachodnich. Jednak zastosowanie eksperymentalnych i częściowych metod konstrukcyjnych można uznać za początek prefabrykacji w Polsce. Już w połowie lat 50. w budynku wielorodzinnym w Nowej Hucie zastosowano wielkogabarytowe prefabrykaty żużlowo-betonowe (5). Od 1947 r. prefabrykaty wykorzystywano także przy budowie warszawskiego osiedla TOR na Kole. Były to między innymi bloczki ściennie, trójdzielne elementy elewacyjne i ścianki działowe oraz klocki stropowe do systemów DMS, produkowane na miejscu na tzw. poligonie prefabrykacji polowej (6). Ponadto przy budowie osiedla Muranów od 1947 r. stosowano bloczki łamane i prefabrykowane elementy konstrukcyjne: belki z kamienia kruszonego, poprzecznice, a także ramy okienne, krawężniki i gzymsy (7).

Późne lata sześćdziesiąte dały początek tak zwanej technologii masowej. Wprowadzone odmiany posłużyły do opracowania optymalnych, jednolitych konstrukcji do szybkiej i ekonomicznej

cement was invented in England, owing its name to its similarity in colour to Portland limestone (3). The invention offered greater possibilities in terms of the strength and durability of erected buildings, and opened up opportunities for new technique such as prefabrication. This made it possible to move much of the works under the roof of the factory.

Although art historians have been arguing for years about which project was the first prefabricated building in Europe, the most significant contribution to the development of prefabrication is attributed to Le Corbusier, who at the beginning of the 20th century worked on the possibilities of shaping space based on a standardised construction unit.

2. The beginnings of prefabrication in Poland – the time of experimentation and technique development

Industrial construction methods were the basis for residential buildings in the 20th century. Firstly, based on the shape of the dwelling and the character of the building, the housing standards in place for many years were determined. At the height of the technique, these standards provided Poles with as many as seven million multi-family dwellings (4). Nowadays, precast concrete is gaining more and more importance as a modern building material and is an increasingly common method of constructing residential buildings. Due to its new applicability, there has been a fundamental shift in the way we think about and shape space as flexible solutions are constructed for different audiences and social expectations rise.

The idea of prefabrication has developed over the last century, initially in Western Europe, France, Sweden and Finland. The first plant in Poland was established in Białe Błota even before the First World War, and then prefabrication was introduced after the Second World War as a technique partly acquired from the eastern neighbour and partly based on western solutions. However, the use of experimental and partial construction methods can be considered the beginning of prefabrication in Poland. As early as the mid-1950s, large-scale slag and concrete precast elements were used in a multi-family building in Nowa Huta (5). From 1947, prefabricated elements were also used in the construction of Warsaw's TOR estate in Koło. These included wall blocks, three-part façade elements and partition walls, as well as filler blocks for DMS systems, produced on site at the so-called field prefabrication training ground (6). In addition, broken stone blocks and prefabricated structural elements were used in the construction of the Muranów estate from 1947 onwards: broken stone beams, cross beams, as well as window frames, kerbs and cornices (7).

The late 1960s gave rise to so-called mass technique. The varieties introduced were used to develop optimum, uniform designs for rapid and cost-effective construction of buildings (8). The WUF-T system created the largest number of buildings that varied in detail [commercial or residential ground floor or the opposite of residential layout].

budowy obiektów (8). System WUF-T stworzył największą liczbę budynków, które różniły się szczegółowością [parter usługowy, mieszkalny lub przeciwieństwo układu mieszkania].

Pod koniec lat 60. wiele dużych miast w Polsce zaczęło stosować regionalny system budownictwa uprzemysłowionego. W tym okresie upowszechniło się wiele lokalnych odmian, których autorami byli rdzenni inżynierowie i projektanci. Systemy lokalne a mianowicie WWP [Wrocław], Dąbrowa [Łódź], Winogrody [Poznań], Domino [Kraków], „J” [Warszawa], operowały zestawami gotowych budynków typowych (4).

Powstające systemy centralne dla wielopłytych budynków, do których należały OWT-67, WUF-T, to ograniczony zestaw elementów, prefabrykatów w typowych odcinkach segmentów. Większość systemów regionalnych i centralnych produkowano w fabryce na miejscu budowy, a także w ramach produkcji polowej.

W zorganizowanym w roku 1967 przez Ministerstwo Budownictwa i Przemysłu Materiałów Budowlanych konkursie na projekt otwartego systemu budownictwa wielopłytych zwyciężył system „szczeciński” oraz W-70. Oba operowały katalogami typów prefabrykatów i typowych węzłów, co pozwoliło na wprowadzenie różnorodności funkcjonalnej do projektowania mieszkań i budynków (5).

W wyniku nacisków społecznych i decyzji politycznych o intensyfikacji produkcji przemysłowej zaczęły powstawać tzw. Fabryki Domów. Pierwsza taka fabryka powstała w Jastrzębiu Zdroju w 1969 roku, która wykorzystywała linię produkcyjną sprowadzoną z NRD. W całym kraju wdrożono liczne systemy prefabrykowane. Dla przykładu technologia W-70, z lokalnego systemu konstrukcyjno – montażowego stała się systemem ogólnopolskim, powszechnie stosowanym (9). Stało się tak głównie dlatego, że gotowe składniki można było wykorzystać do dostosowania wielkości i liczby pięter do konkretnych warunków i potrzeb. Oprócz systemów otwartych, projekty typowe realizowane były w systemach zamkniętych, bez możliwości wprowadzania zmian [PBU, WUF-T, WWP] oraz

At the end of the 1960s, many large cities in Poland began to use a regional industrialised construction system. During this period, many local varieties were popularised by indigenous engineers and designers. Local systems such as WWP [Wrocław], Dąbrowa [Łódź], Winogrody [Poznań], Domino [Kraków], „J” [Warsaw], operated with sets of ready-made typical buildings (4).

Emerging central systems for large panel buildings, such as OWT-67, WUF-T, are a limited set of elements, prefabricated in typical segment sections. Most of the regional and central systems were manufactured in the factory on site, as well as through field production.

In a competition organised in 1967 by the Ministry of Construction and Building Materials Industry for the design of an open large panel building system, the winner was the “Szczecin” and W-70 system. Both operated with catalogues of types of prefabricated elements and typical nodes, which allowed functional diversity to be introduced into the design of dwellings and buildings (5).

As a result of public pressure and political decisions to intensify industrial production, so-called House Factories began to emerge. The first such factory was established in Jastrzębie Zdrój in 1969, which used a production line imported from East Germany. Numerous prefabricated systems have been implemented across the country. For example, the W-70 technique, from a local structural and assembly system, has become a common nationwide system (9). This was mainly because off-the-shelf components could be used to adapt the size and number of floors to specific conditions and needs. In addition to open systems, typical designs were realised in closed systems without the possibility of change [PBU, WUF-T, WWP] and partially closed systems [e.g. OWT], where structural layouts and building heights can be changed from 5 to 11 storeys.

3. New prefabrication

Today’s technological developments are at the forefront of typical solutions. Technological progress is manifested both in the industrialisation of construction plans and in the production of various types of prefabricated elements of appropriate quality in complex building plans. The aim of manufacturing precast concrete elements in specialised factories is to produce elements of sufficient quality and durability, precise execution and repeatability, for adequate production efficiency (4). In addition to the dimensional standards for prefabrication, many types of concrete are used, depending on the technique and purpose of the elements. The most commonly used are: liquid and self-compacting plastic consistency concrete, concrete with dispersion reinforcement [with fibres], concrete with glass fibre content, concrete with wet consistency, as well as other rare mixtures with special



Rys. 3. Poznań, osiedle z prefabrykatów [fot. Pekabex]

Fig. 3. Poznań, Pekabex prefabricated housing estate [photo by Pekabex]

częściowo zamkniętych [np. OWT], gdzie układy konstrukcyjne i wysokości budynków można zmieniać od 5 do 11 kondygnacji.

3. Nowa prefabrykacja

Dzisiejsze osiągnięcia technologiczne wiodą prym w zakresie typowych rozwiązań. Postęp technologiczny przejawia się zarówno w uprzemysłowieniu projektów budowlanych, jak i w produkcji różnego rodzaju prefabrykatów odpowiedniej jakości, w złożonych projektach obiektów budowlanych. Celem wytwarzania prefabrykatów betonowych w wyspecjalizowanych fabrykach jest wytwarzanie elementów o odpowiedniej jakości i trwałości, precyzyjnym wykonaniu i powtarzalności, dla odpowiedniej wydajności produkcji (4). Oprócz norm wymiarowych dotyczących prefabrykacji, stosuje się wiele rodzajów betonu, w zależności od technologii i przeznaczenia elementów. Najczęściej stosowane to: beton o konsystencji plastycznej płynnej i samozagęszczalnej, beton ze wzmocnieniem dyspersyjnym [z włóknami], z zawartością włókna szklanego, beton o konsystencji wilgotnej, a także inne rzadkie mieszanki o specjalnych właściwościach, jak np. beton samoczyszczący lub transparentny (4). Dzięki odpowiedniej modyfikacji składu mieszanki betonowej można uzyskać użyteczne właściwości tego materiału, takie jak drenaż, ochrona termiczna czy właściwości dekoracyjne. Na przykład tak zwany „beton architektoniczny” może sprostać nawet największym wymaganiom estetycznym architektów pod względem tekstury powierzchni i koloru.

Do zilustrowania części o współczesnej prefabrykacji na rys. 4-6 pokazano przykłady realizacji wykonanych przez polskich producentów.

Na rys. 4 pokazano zdjęcie z fabryki Pekabex, na którym widać produkcję białych balkonów z tzw. „betonu architektonicznego” na potrzeby inwestycji Am Tacheles w Berlinie.

Produkcja elementów prefabrykowanych wymaga szczegółowego przygotowania. Proces produkcyjny rozpoczyna się już na etapie projektowania obiektu i stanowi najważniejszą część procesu jego realizacji. Nastąpiło znaczne przesunięcie w czasochłonnym wykonaniu projektu technicznego obiektu w stosunku do samej produkcji prefabrykatów, a zwłaszcza realizacji samego obiektu (4). Zarządzanie produkcją i projektem odbywa się doskonale dzięki technologii BIM, która wspiera nie tylko proces produkcji, ale także fazę jego eksploatacji. Dokumentacja techniczna uwzględnia zarówno modułowość elementów ścian i stropów, jak również parametry fizyczne, chemiczne i wizualne betonu poszczególnych elementów prefabrykowanych. Dlatego rysunki techniczne

properties, such as self-cleaning or transparent concrete (4). By appropriately modifying the composition of the concrete mix, useful properties of this material such as draining, thermal protection or decorative properties can be achieved. For example, so-called “architectural concrete” can meet even the greatest aesthetic demands of architects in terms of surface texture and colour.

To illustrate the part about contemporary prefabrication, Figures 4-6 show examples of projects carried out by Polish manufacturers.

Fig. 4 shows a photo from the Pekabex factory demonstrating the production of white balconies made of so-called “architectural concrete” for the Am Tacheles development in Berlin.

The production of prefabricated elements requires thorough preparation. The manufacturing process starts at the building design stage and is the most important part of the implementation process. There has been a significant shift in the time-consuming execution of the technical design of the building compared to the production of the prefabricated elements alone, and especially the erection of the building itself (4). Production and project management is handled perfectly by the BIM technique, which supports not only the production process but also the operation phase. The technical documentation takes into account both the modularity of the wall and floor elements as well as the physical, chemical and visual parameters of the concrete of the individual precast elements. The technical drawings of buildings must therefore be prepared with close cooperation between builders and architects.

Figure 5 shows an example of a semi-circular coloured wall made for a Swedish customer.

Technically simple buildings do not require the development of systems of prefabrication, but can be based on the guidelines in the manufacturer’s catalogue. This avoids the problems associated with the manufacture and assembly of precast components



Rys. 4. Balkon prefabrykowany z „betonu architektonicznego” [fot. Pekabex]

Fig. 4. Prefabricated balcony made of “architectural concrete” [photo: Pekabex]



Rys. 5. Prefabrykowana półokrągła ściana, barwiona w masie [fot. Pekabex]

Fig. 5. Prefabricated semicircular wall, colored in mass [photo: Pekabex]

objektów muszą być przygotowane z uwzględnieniem ścisłej współpracy budowniczych i architektów.

Na rys. 5 pokazano przykład ściany półokrągłej barwionej w masie, wykonany dla klienta szwedzkiego.

Proste technicznie obiekty nie wymagają opracowywania systemów prefabrykowanych, ale mogą opierać się na wytycznych zawartych w katalogu producenta. Dzięki temu unika się problemów związanych z produkcją i montażem prefabrykatów na budowie. Wieloetapowa kontrola prefabrykatów, od przygotowania, produkcji, po odbiór (10) i dystrybucję gotowych elementów, zapewnia jakość prefabrykatów.

W wielu dziedzinach budownictwa dominuje obecnie beton prefabrykowany. Budownictwo mieszkaniowe stawia również nowe kroki w kierunku powszechnego stosowania prefabrykatów o jakości odpowiadającej dzisiejszym potrzebom. Praktyczne korzyści płynące z nowej prefabrykacji pojawiają się na wszystkich poziomach produkcji i użytkowania, dzięki czemu wznoszone metodą przemysłową obiekty mogą być wykorzystywane w całości lub łączone z innymi technologiami. Do zalet należy przede wszystkim szybkość montażu obiektów, gdyż przeważa montaż, a nie praca „na mokro”, na którą mają wpływ warunki atmosferyczne. Na rys. 6 pokazano montaż ściany malowanej.

Prefabrykacja daje możliwość spełnienia wymagań materiałowych i energochłonności, co pozwala na produkcję prefabrykatów precyzyjnych technicznie.

on site. The multi-stage control of prefabricated elements, from preparation, production, to acceptance (10) and distribution of the finished elements, ensures the quality of the prefabricates.

Many areas of construction are now dominated by precast concrete. The housing industry is also taking new steps towards the widespread use of prefabricated products of a quality that meets today's needs. The practical benefits of the new prefabrication emerge at all levels of production and use, so that buildings erected using the industrialised method can be used in their entirety or combined with other

techniques. Among the advantages are, above all, the swiftness with which structures can be assembled, as assembly rather than in-situ work - which is affected by weather conditions - prevails. Figure 6 shows the installation of a painted wall.

Prefabrication offers the opportunity to meet material and energy intensity requirements, allowing the production of technically precise prefabricated products.

4. Advantages of precast concrete

Thanks to the use of precast concrete, it is possible to minimise construction time while maintaining high durability and quality. Prefabricated elements are reinforced with non-prestressed and prestressed steel reinforcement as well as composite inserts, which have excellent performance properties. This allows them to be



Rys. 6. Montaż trójwarstwowej ściany prefabrykowanej, Osiedle Ja_Sielska w Poznaniu [fot. Pekabex]

Fig. 6. Assembly of a three-layer prefabricated wall, Ja_Sielska housing estate in Poznań [photo: Pekabex]

4. Zalety prefabrykacji betonowej

Dzięki zastosowaniu prefabrykacji betonowej możliwe jest skrócenie do minimum czasu realizacji inwestycji, zachowując dużą trwałość i jakość. Prefabrykaty są wzmacniane zbrojeniem stalowym zwykłym i sprężającym oraz wkładkami kompozytowymi, posiadającymi doskonale właściwości użytkowe. Pozwala to na ich użycie w bardzo szerokim zakresie zastosowań. Ich głównymi zaletami są: duże rozpiętości – elastyczność użytkowania, możliwości architektoniczne, ognioodporność, izolacyjność akustyczna, efektywność energetyczna.

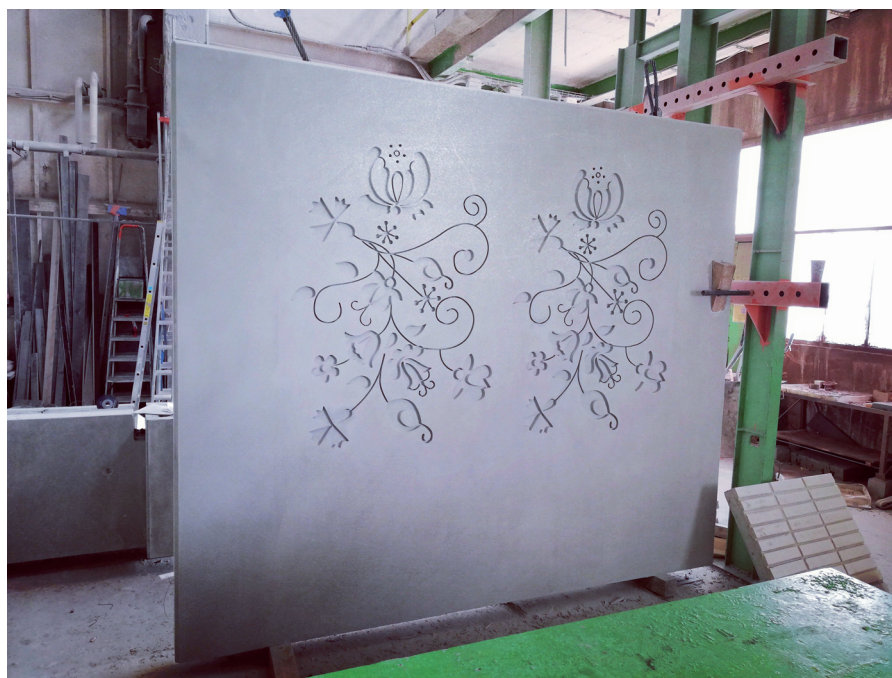
Współczesne osiedla mieszkaniowe, w przeciwieństwie do tzw. „wielkiej płyty” mogą pełnić już nie tylko funkcję użytkową, ale także estetyczną. W latach 60. ubiegłego wieku estetyka była drugorzędna, gdyż głównym imperatywem była liczba wykonanych mieszkań, a nie ich wygląd.

Rys. 7 przedstawia przykład ściany z odciskiem matrycy, w tym przypadku zastosowano wzór kaszubski. Tego rodzaju rozwiązanie pozwala na zastosowanie niezwykle precyzyjnych linii przy równoczesnej dużej automatyzacji produkcji.

Rys. 8 przedstawia kolejno: budynek biurowy firmy L.I.T. w Zielonej Górze oraz osiedle przy ul. Okólnej w Toruniu dla PFR Nieruchomości, których elementy zostały wyprodukowane w zakładach Pekabex.

W tej technologii możliwe są również różnorodne opcje wykończenia elewacji, jak na przykład klinkier, czy kamień [rys. 9].

W niektórych inwestycjach zdecydowano się zachować część powierzchni betonowych jako niewykończoną strukturę wewnątrz klatek schodowych. Na rys. 10 pokazano klatkę schodową budynku



Rys. 7. Ściana z odciskiem matrycy, wzór kaszubski [fot. Pekabex]

Fig. 7. Wall with a matrix imprint in a Kashubian pattern [photo: Pekabex]

used in a very wide range of applications. Their main advantages are: large spans – flexibility of use, architectural possibilities, fire resistance, sound insulation, energy efficiency.

Modern housing estates, in contrast to large panel developments, can no longer fulfil only a utilitarian function but also an aesthetic one. In the 1960s aesthetics were secondary, as the main imperative was the number of dwellings completed, not their appearance.

Figure 7 shows an example of a matrix-impressed wall, in this case a Kashubian pattern was used. This type of solution allows the use of extremely precise lines with a high degree of production automation.

Fig. 8 shows, in turn, an office building for L.I.T. in Zielona Góra and a housing estate at Okólna Street in Toruń for PFR Nieruchomości, with components manufactured at Pekabex plants.



Rys. 8. Budynek biurowy firmy L.I.T. w Zielonej Górze oraz osiedle przy ul. Okólnej w Toruniu dla PFR Nieruchomości [fot. Pekabex]

Fig. 8. L.I.T. office building in Zielona Góra and housing estate at Okólna St. in Toruń for PFR Nieruchomości [photo: Pekabex]



Rys. 9. Ściana trójwarstwowa z elewacją ceglana [fot. Pekabex]

Fig. 9. A three-layer wall with a brick façade [photo: Pekabex]

przy ul. Okólnej w Toruniu oraz budownictwo mieszkaniowe przy ul. Jasielskiej w Poznaniu.

Prefabrykacja betonowa to nie tylko konstrukcje i elewacje, ale także standard wykończenia wewnątrz budynków. Na rys. 11 pokazano przykład zastosowania betonu licowego na schodach dywanowych budynku L.I.T. w Zielonej Górze.

Ściany trójwarstwowe nośne, ukazane powyżej, są w całości produkowane w fabrykach, mają już warstwę elewacyjną, i na miejscu zwykle również wyposażane w stolarkę okienną, parapety czy nawet rolety okienne, na zamówienie klienta. Możliwe jest jednak zastosowanie na konstrukcji dekoracyjnych samonośnych elementów fasad i wnętrz. Przykładem polskich producentów są firmy Kroe i Pebek.

Na rys. 12 pokazano budynek 101 George Street – Croydon z piaskowaną powierzchnią z gładkimi pasami. Do wykończenia powierzchni została użyta mika.

A variety of façade finish options are also possible with this technique, such as clinker or stone [Fig. 9].

In some developments it has been decided to retain some of the concrete surfaces as an unfinished structure inside the staircases. Fig. 10 shows the staircase of a building at Okólna Street in Toruń and a housing development at Jasielska Street in Poznań.

Precast concrete means not only structures and façades but also the standard of interior finishes. Fig. 11 shows an example of the use of architectural concrete on the carpeted stairs of the L.I.T. building in Zielona Góra.

The three-layer load-bearing walls, shown above, are completely manufactured in factories, already having the façade layer, and usually also fitted with window joinery, sills or even window blinds on site, as per customer request. However, it is possible to use decorative self-supporting façade and interior elements within the structure. Examples of Polish manufacturers are Kroe and Pebek.

Figure 12 shows the 101 George Street - Croydon building with a sandblasted surface featuring smooth strips. Mica was used for the surface finish.

The use of concrete allows infinite possibilities for imparting a structural function. The use of so-called “architectural concrete”, on the other hand, adds aesthetic value to buildings.

Figure 13 shows the Generation Park A Warszawa building whose elements were made by the Polish company Pebek.

Prefabricated elements made of architectural concrete must meet market expectations – high quality, i.e. uniform surface, colour and patterns, as well as absence of damage. “Architectural concrete” is a term that is defined by an architect’s specification. With the parameters set, a template is created as a reference for the other elements.

Figure 14 shows the Nowy Targ building in Wrocław, the prefabricated elements were manufactured by Pebek. The façade was made of white concrete, finished by sandblasting.

The photos in Fig. 15 illustrate the façade of the National Archives in Kraków finished with a mosaic of panels in seven colours, made by Kroe.



Rys. 10. Klatki schodowe budynków: przy ul. Okólnej w Toruniu oraz przy ul. Jasielskiej w Poznaniu [fot. Pekabex]

Fig. 10. Staircases: at Okólna St. in Toruń and at Jasielska St. in Poznań [photo: Pekabex]



Rys. 11. Prefabrykowane schody dywanowe budynku L.I.T. w Zielonej Górze [fot. Pekabex]

Fig. 11. Prefabricated „carpet” stairs of the L.I.T. in Zielona Góra [photo: Pekabex]

Użycie betonu pozwala na nieskończenie wiele możliwości nadawania funkcji konstrukcyjnej. Z kolei wykorzystanie tzw. „betonu architektonicznego” dodaje budynkom walorów estetycznych.

Rys. 13 przedstawia Budynek Generation Park A Warszawa, którego elementy zostały wykonane przez polską firmę Pebek.

Elementy prefabrykowane wykonane z tzw. „betonu architektonicznego” muszą odpowiadać oczekiwaniom rynkowym – wysokiej jakości, czyli jednolitej powierzchni, koloru i wzorów, a także braku uszkodzeń. „Beton architektoniczny” jest terminem, który jest określany specyfikacją przez architekta. Wraz z ustalonymi parametrami tworzy się wzornik, będący odnośnikiem dla pozostałych elementów.

Rys. 14 ukazuje budynek Nowy Targ we Wrocławiu, produkcją elementów prefabrykowanych zajęła się firma Pebek. Elewacja została wykonana z białego betonu, wykończonego przez piaskowanie.

In modern precast concrete construction, designs where façades are not only a load-bearing element but also highly aesthetic are leading the way.

Figure 16 shows the Canal Side Walk in London, the elements of which were manufactured by Kroe.

Precast concrete elements allow for greater spans, even with relatively high service loads. Larger spans and thinner slabs can be achieved by using prestressed beams and slabs. Roof element spans used for industrial halls and shopping malls can reach 45 m or beyond.

The prefabricated elements used in the construction of multi-storey car parks allow more cars to be parked due to the use of larger open spaces and smaller column cross-sections (11). Large open spaces are also used for office buildings, which are subdivided into smaller spaces using partitions. This solution not only provides flexibility in the planning of buildings, but also significantly extends the life of the building due to easier adjustment of storey areas – thus allowing the building to maintain its market value for longer.

Concrete is non-flammable and can withstand high temperatures for a long time. Reinforcing bars are reinforcements for precast elements that are naturally fireproofed by the concrete cladding. By adjusting the thickness of this covering, the desired fire resistance class can be achieved. Fire resistance times for prefabricated elements typically range from 60 to 120 minutes for floors and beams and up to 240 minutes for walls and columns (11).

Building plans do not require specific prefabricated components; almost any building can be adapted to the customer’s or architect’s requirements. There is no contradiction between the issue of aesthetics and functionality and increased efficiency. Industrialisation means that the days of many similar buildings are a thing of the past. On the other hand, the combination of production and



Rys. 12. 101 George Street – Croydon [fot. Kroe]

Fig. 12. 101 George Street – Croydon [photo: Kroe]

Zdjęcia na rys. 15 przedstawiają elewację Archiwum Narodowego w Krakowie wykończoną mozaiką z paneli w siedmiu kolorach, wykonanie – firma Kroe.

W nowoczesnej prefabrykacji betonowej prym wiodą projekty, w których elewacje stanowią nie tylko element nośny, ale również odznaczają się wysoką estetyką.

Rys. 16 przedstawia Canal Side Walk w Londynie, którego elementy zostały wyprodukowane przez firmę Kroe.

Prefabrykaty betonowe pozwalają na uzyskanie rozpiętości, nawet przy stosunkowo dużych obciążeniach eksploatacyjnych. Większe rozpiętości i cieńsze płyty można uzyskać, stosując sprężone belki i płyty. Rozpiętości elementów dachowych wykorzystywanych do budowy hal przemysłowych i galerii handlowych, mogą sięgać 45 m lub więcej.

Prefabrykowane elementy użyte do budowy parkingów wielopoziomowych pozwalają na zaparkowanie większej liczby samochodów, dzięki zastosowaniu większych otwartych przestrzeni i mniejszych przekrojów słupów (11). Do budowy biurowców wykorzystywane są również duże otwarte przestrzenie, które za pomocą ścianek działowych dzielone są na mniejsze. Takie rozwiązanie nie tylko zapewnia elastyczność w planowaniu budynku, ale także znacznie wydłuża jego żywotność dzięki łatwiejszej regulacji powierzchni kondygnacji – w ten sposób budynek może dłużej utrzymać swoją wartość rynkową.

Beton jest niepalny i przez długi czas wytrzymuje wysokie temperatury. Pręty zbrojeniowe to wzmocnienia elementów prefabrykowanych, które są naturalnie ogniodoporne przez okładzinę betonową. Regulując grubość tego pokrycia, można uzyskać pożądaną klasę odporności ogniowej. Czasy odporności ogniowej elementów prefabrykowanych wynoszą zwykle od 60 do 120 minut dla stropów i belek oraz do 240 minut dla ścian i słupów (11).

Projekt budowlany nie wymaga stosowania konkretnych prefabrykatów, prawie każdy budynek można dostosować do wymagań klienta lub architekta. Nie ma sprzeczności między kwestią estetyki i funkcjonalności, a zwiększoną wydajnością. Industrializacja oznacza, że czasy wielu podobnych budynków to już przeszłość. Z drugiej strony połączenie produkcji i wykwalifikowanej siły roboczej pozwala tworzyć nowoczesne projekty architektoniczne, bez ponoszenia dodatkowych kosztów finansowych.

Izolacja akustyczna to jeden z najważniejszych aspektów budownictwa wielorodzinnego. Jednym z wymogów dobrego mieszkania jest wyciszenie nie tylko dźwięków dochodzących z „wewnątrz”, np. muzyka, ale także tych niezależnych dźwięków dochodzących „z zewnątrz”, np. ruch uliczny, hałas uliczny. Prefabrykowana



Rys. 13. Generation Park A, Warszawa [fot. Pebek]

Fig. 13. Generation Park A, Warsaw [photo: Pebek]



Rys. 14. Nowy Targ we Wrocławiu [fot. Pebek]

Fig. 14. Nowy Targ in Wrocław [photo: Pebek]

skilled labour allows modern architectural designs to be created without incurring additional financial costs.

Sound insulation is one of the most important aspects of multi-family housing. One of the requirements of a good flat is to attenuate not only the sounds coming from “inside”, e.g. music, but also those independent sounds coming “from outside”, e.g. traffic, road noise. The precast concrete structure creates the conditions for good sound insulation covering the entire range of sounds perceived by the human ear. For example, by using appropriate flooring, it is possible to isolate noise from inside the building as well as from the surrounding environment. The construction of a suitable hollow core slab ceiling as supporting elements is the basis for good sound insulation, both inside the building and from outside sounds (11).

konstrukcja betonowa stwarza warunki do dobrej izolacji akustycznej, obejmującej cały zakres dźwięków odbieranych przez ludzkie ucho. Na przykład dzięki zastosowaniu odpowiednich podłóg możliwe jest izolowanie hałasu z wnętrza budynku, jak również z otaczającego środowiska. Wykonanie odpowiedniego stropu z płyt kanałowych jako elementów nośnych, to podstawa dobrej izolacji akustycznej, zarówno wewnątrz budynku, jak i od dźwięków z zewnątrz (11).

Ogrzewanie i chłodzenie budynków odgrywa ogromną rolę w bilansie energetycznym. W budynkach zbudowanych z elementów prefabrykowanych stosuje się wydajny system izolacji termicznej, który znacznie zwiększa oszczędności energii cieplnej. Panele ścienne żelbetowe wypełnione są izolacją, która może mieć grubość ponad 150 mm (11). Ten uniwersalny materiał izolacyjny pokrywa całą powierzchnię płyty bez tworzenia mostków termicznych. Beton ma również dużą pojemność cieplną, którą można wykorzystać do naturalnego ograniczania wahań temperatury w cyklu dzień-noc, a także systemy wentylacyjne i klimatyzacyjne służące do regulacji temperatury w pomieszczeniach.

Prefabrykacja betonowa to nie tylko przestrzenne hale czy obiekty mieszkaniowe. To także mała architektura ogrodowa – na przykład ławki lub donice. Na rys. 18 pokazano ławkę wykonaną przez firmę Pebek.

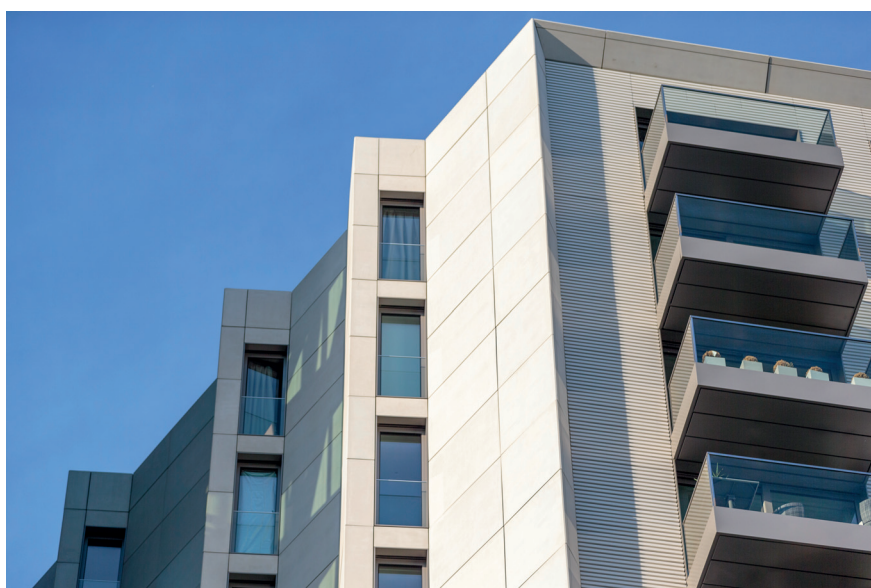
5. Wnioski

Prefabrykaty miały duży wpływ na kształt XX-wiecznych budynków mieszkalnych, a ich znaczenie pozostaje nieślabnące. W przeszłości prefabrykat miał za zadanie wypełnić braki mieszkaniowe. Okresy eksperymentów zamieniły się w burzliwe czasy dla rozwoju technologii, systemów budowlanych i ich odmian, a rolę prefabrykacji było kształtowanie podstawowych standardów mieszkaniowych. Ze względu na wielkoskalowe właściwości tego zjawiska, okres ten stał się jednym z najbardziej wyrazistych okresów w zabudowie mieszkaniowej, elementach zabudowy i konstrukcjach, które są współcześnie typowe w przestrzeni miejskiej. Pozostawiona w ten sposób spuścizna technologiczna nadal cieszy się szacunkiem i uznaniem projektantów. Pogląd ten opiera się na bogatym doświadczeniu zdobytym w fabrykach polowych, a później w fabrykach przydomowych i na budowach, w których z powodzeniem legitymizowano architektoniczne i techniczne problemy uprzemysłowienia budownictwa. Prefabrykacja z oryginalnej produkcji do tego poziomu stała się ogromnym osiągnięciem technicznym i potencjalnym źródłem dalszego roz-



Rys. 15. Archiwum Narodowe w Krakowie [fot. Kroe]

Fig. 15. National Archives in Krakow [photo: Kroe]



Rys. 16. Canal Side Walk w Londynie [fot. Kroe]

Fig. 16. Canal Side Walk in London [photo: Kroe]

The heating and cooling of buildings plays a huge role in the energy balance. Buildings constructed with prefabricated elements use an efficient thermal insulation system that maximises thermal energy savings. Reinforced concrete wall panels are filled with insulation, which can be more than 150 mm thick (11). This versatile insulation material covers the entire surface of the panel without creating thermal bridges. Concrete also has a high heat capacity, which can be used to naturally reduce temperature fluctuations during the day-night cycle, as well as ventilation and air-conditioning systems, to regulate room temperatures.

woju budownictwa mieszkaniowego w Polsce. W tym sensie technologia działa, a co ważne, okres zmian i rozwoju jeszcze się nie skończył. Przestrzeń i forma są metodą na osiągnięcie elastycznej, funkcjonalnej transformacji i mają swoich zwolenników, podobnie jak dzisiejsi architekci i budowniczowie.

Rolą nowej prefabrykacji jest przede wszystkim oferowanie nowych rozwiązań technicznych i jakościowych oraz produkcja różnorodnych elementów konstrukcyjnych. Znaczenie realizacji zależy w dużej mierze od fazy projektowej i przygotowania technicznego, w mniejszym stopniu od produkcji czy montażu konstrukcji. Obecnie o standardzie budownictwa decydują możliwości finansowe inwestorów, a rozwiązaniem jest gra o opłacalność inwestycji mieszkaniowych. Ze względu na balast dotychczasowych doświadczeń, prefabrykacja modułowa jest istotnym wyzwaniem dla współczesnej architektury, a także w wyraźnej sprzeczności ze stosowaniem obniżonych standardów przestrzennych i ujednoczonych rozwiązań wizualnych. Elastyczność i różnorodność elementów konstrukcyjnych z jednej strony, a z drugiej lepsze technicznie prefabrykaty sprawiają, że ich typizacja jest znakomicie dostosowana do współczesnych wymagań praktycznych i estetycznych architektury mieszkaniowej.

Producenci elementów betonowych oraz dostawcy różnych rozwiązań stosowanych w przemyśle budowlanym wynajdują coraz nowsze techniki i metody, aby uzyskać ciekawsze struktury, faktury i kolory. Ponadto odbiorcy są coraz bardziej świadomi tego, co mogą osiągnąć i coraz więcej wymagają. Te dwa czynniki doprowadziły do szybkiego rozwoju polskiej branży prefabrykatów betonowych, która staje się jednym z najważniejszych graczy na tym rynku w Europie (12). Architekci i projektanci mają wiele możliwości tworzenia ciekawych projektów, wybierając beton, jako materiał budowlany – współpracując i wykorzystując doświadczenie ekspertów branżowych, mogą uniknąć wielu błędów projektowych i wdrożeniowych. Docelowo produkty w postaci tzw. „betonu architektonicznego” będą miały unikalne, ciekawe cechy, które będą opłacalne pod względem produkcji, jakości i spełnienia wymagań.

Literatura / References

1. <https://pl.pinterest.com/pin/328340629079500597/> [accessed: 07.07.2022]
2. <https://encyklopedia.pwn.pl/haslo/porzadki-architektoniczne;3960807.html> [accessed 07.07.2022]
3. W. Kurdowski, *Chemistry od cement and concrete*. Springer Dordrecht, 2014. <https://doi.org/10.1007/978-94-007-7945-7>
4. A. Orchowska, The role of prefabrication in shaping the residential architecture of the twenty-first century. *Housing Environ.* **32**, 69-70 (2020) (in Polish). <https://doi.org/10.4467/25438700sm.20.028.12892>
5. S.M. Wierzbicki, Problemy modernizacji budynków wielkopłytkowych,



Rys. 17. Przykład hali cross-dockingowej dla firmy Panattoni w Kielcach [fot. Pekabex]

Fig. 17. An example of a cross-docking hall for Panattoni in Kielce [phot: Pekabex]



Rys. 18. Mała architektura ogrodowa [fot. Pebek]

Fig. 18. Small garden architecture [photo: Pebek]

Precast concrete construction is not only about spacious halls or residential buildings. This includes hard landscaping – such as benches or pots. Figure 18 illustrates a bench made by Pebek.

5. Conclusions

Prefabricated structures greatly influenced the shape of 20th-century housing, and their importance has remained undiminished. In the past, prefabrication was designed to fill housing shortages. Periods of experimentation turned into turbulent times for the development of technique, building systems and their variations and the role of prefabrication, was to shape basic housing standards. Due to the large-scale nature of this phenomenon, this period has become one of the most prominent in residential development, development elements and structures that characterise contemporary urban functioning. The technological legacy thus left behind

Możliwości techniczne modernizacji budynków wielkopłytowych w Polsce na tle ich aktualnego stanu, Instytut Techniki Budowlanej, 1999.

6. H. Syrkus, *Ku idei osiedla społecznego 1925-1975*, PWN, Warszawa 1976.

7. B. Lewicki, *Budynki mieszkalne z prefabrykatów wielkowymiarowych*, Budownictwo-Sztuka-Architektura, Wydawnictwo Arkady, Warszawa 1964.

8. A. Szulczyk, *Osiedle kontrastów*. *Kontakt*, 21/2012 (2012). <https://magazynkontakt.pl/osiedle-prototypow/> [accessed 03.06.22]

9. A. Orchowska, *Architectural solutions with reuse of prefabricated concrete slabs*. *JCEEA*, 33(4), 365-374 (2016) (in Polish). <https://doi.org/10.7862/rb.2016.281>

10. D. Czernek, P. Woyciechowski, *Materiały do produkcji prefabrykatów betonowych*. *Murator Plus* (2017). <https://www.muratorplus.pl/technika/konstrukcje/materiały-do-produkcji-prefabrykatów-betonowych-aa-Ge9V-oSqx-Gzpd.html> [accessed 03.06.22]

11. <https://consolis.pl/consolis-polska/system-consolis/zalety-prefabrykacji/> [accessed 03.06.22]

12. M. Kołłątaj (red.), *Prefabrykacja – jakość, trwałość, różnorodność*, *Beton w architekturze*, Stowarzyszenie Producentów Betonów, Warszawa 2017.

continues to be respected and appreciated by designers. This view is based on the extensive experience gained in field factories and, later, in backyard factories and on construction sites, where the architectural and technical problems of building industrialisation were successfully legitimised. Prefabrication rising from original production to this level has become a huge technical achievement and a potential source of further housing development in Poland. That being said, the technique is functioning and, importantly, the period of change and development is not yet over. Space and form are a way of achieving flexible, functional transformation and have their advocates, as do today's architects and builders.

The role of new prefabrication is primarily to offer new technical and quality solutions and to produce a variety of structural components. The importance of implementation depends largely on the design and technical preparation phase, less so on the manufacture or assembly of the structure. Today, the standard of construction is determined by the financial capacity of project owners, and the solution is a gamble on the profitability of housing investments. Due to the burden of the past experience, modular prefabrication is a significant challenge for contemporary architecture, and in clear contradiction to the application of reduced spatial standards and standardised visual solutions. The flexibility and variety of the structural elements on the one hand, and the technically superior prefabricated elements on the other, make their typification eminently suitable for the contemporary practical and aesthetic requirements of residential architecture.

Manufacturers of concrete elements and suppliers of various solutions used in the construction industry, are inventing ever newer techniques and methods to achieve more interesting structures, textures and colours. In addition, audiences are increasingly aware of what they can achieve and are demanding more. These two factors have led to the rapid development of the Polish precast concrete industry, which is becoming one of the most important players in this market in Europe (12). Architects and designers have many opportunities to create interesting designs by choosing concrete as a building material – by collaborating and using the expertise of industry experts, they can avoid many design and implementation mistakes. Ultimately, products in the form of so-called "architectural concrete" will have unique, interesting features that are cost-effective in terms of production, quality and meeting requirements.