

Prefabrykacja betonowa. Lekcje z przeszłości i postępy w przyszłości

Concrete prefabrication. Lessons from the past and advances for the future

Słowa kluczowe: prefabrykacja, historia przemysłowego budownictwa, historia prefabrykacji, historia konstrukcji sprężonych

Key words: Prefabrication, History of Industrialised Construction, Precast History, Prestressing History

„Przy budowie należy uwzględnić: trwałość, celowość i piękno. Trwałość budowli osiągnie się wtedy, gdy fundamenty doprowadzi się do stałego gruntu i gdy spośród wielu materiałów budowlanych przeprowadzi się wybór starannie, nie kierując się skąpstwem. Celowość zapewni się budowli przez bezbłędne rozplanowanie przestrzeni, nie ograniczające możliwości użytkowania i uwzględniające strony świata odpowiednie do przeznaczenia budynków. Piękno będzie zapewnione, jeśli wygląd budowli będzie miły i wykwinny, a wymiary poszczególnych członów oparte będą na właściwych zasadach symetrii.“

Witruwiusz

“All... must be built with due reference to durability, convenience, and beauty. Durability will be assured when foundations are carried down to the solid ground and materials wisely and liberally selected; convenience, when the arrangement of the apartments is faultless and presents no hindrance to use, and when each class of building is assigned to its suitable and appropriate exposure; and beauty, when the appearance of the work is pleasing and in good taste, and when its members are in due proportion according to correct principles of symmetry.“

Vitruvius

1. Wprowadzenie

Początki prefabrykacji, to znaczy zastosowania procesów przemysłowych w budownictwie, sięgają początku osiemnastego wieku. Rewolucja Przemysłowa oraz pojawienie się nowych materiałów takich jak stal i szkło, wywarły ogromny wpływ na architekturę i prefabrykację. W niektórych przypadkach projekt architektoniczny przeszedł fundamentalną zmianę, prowadząc do nowych stylów mocno zakorzenionych w procesach przemysłowych (1-2).

Od samego początku prefabrykacja rozwijała się dynamicznie, wnosząc do budownictwa wiele korzyści wypływających z uprzemysłowienia, rozwiązując jednocześnie problemy pojawiające się w początkowych latach. Obecnie prefabrykacja, w porównaniu z tradycyjnymi metodami budownictwa oraz beton jako materiał prezentują wiele korzystnych właściwości. Korzyści wynikające z uprzemysłowionego budownictwa są opisane poniżej (3).

Uprzemysłowienie budownictwa wymaga przeniesienia prac z tymczasowych placów budowy do nowoczesnych zakładów. I tu pojawiają się prefabrykowane elementy. Produkcja fabryczna

1. Introduction. Industrialised construction

The origin of prefabrication, i.e., the application of industrial processes to construction, can be traced back to the early eighteenth century. The Industrial Revolution, with the advent of new materials such as steel and glass, had a huge impact on architecture and prefabrication. In some cases architectural design underwent fundamental change, giving rise to new styles solidly rooted in industrial processes (1-2).

Prefabrication in concrete has evolved in depth and breadth from its beginnings, bringing many of the advantages of industrialisation to construction, while solving some of the problems that arose in the early years. Today prefabrication, compared to traditional construction methods, and concrete as a material, feature a number of beneficial characteristics. The inherent advantages in such industrialised construction are described below (3).

Precast elements are factory made products. The only way to industrialise the construction industry is to shift work from temporary construction sites to modern permanent facilities. Factory production entails rational and efficient manufacturing processes, skilled workers, systematisation of repetitive tasks, and lower

pociąga za sobą racjonalne i efektywne procesy produkcyjne, wykwalifikowanych pracowników, usystematyzowanie powtarzalnych zadań i niższe koszty pracy w przeliczeniu na metr kwadratowy, wynikające ze zautomatyzowanej produkcji. Produkty fabryczne oparte są na procesie z zastosowaniem zasad optymalnej produkcji. Stopniowo wprowadza się automatyzację, którą zresztą już zastosowano w takich dziedzinach jak przygotowywanie stali zbrojeniowej, montaż form, betonowanie i wykończenie powierzchni w betonie architektonicznym. Inne etapy procesu budowlanego z pewnością pójdą tym tropem.

Ostatnio *fib* opublikowało w Biuletynie 74, "Planning and design handbook on precast building structures", szczegółowy opis zaawansowanych możliwości, które prefabrykacja betonu oferuje nowym wyzwaniom w przemyśle budowlanym (4).

2. Rozwój prefabrykacji

Po około pół wieku eksperymentowania, w Europie produkuje się wszystkie rodzaje elementów prefabrykowanych. Ciągły rozwój techniki i współpraca architektów, inżynierów, projektantów, a także konstruktorów zaowocowały nowymi rozwiązaniami w budownictwie. Od samego początku prefabrykacja przejawiała niesamowity potencjał w dostarczaniu nowych twórczych rozwiązań technicznych problemów architektonicznych i budowlanych [fotografia 1].

Sprężanie jest powszechnie stosowane w prefabrykacji. Technika ta nie tylko obejmuje wszystkie zalety sprężonego betonu, ale także prowadzi do zmniejszenia kosztów produkcyjnych, wynikających z niskich nakładów pracy i braku drogich urządzeń mocujących zbrojenie sprężające, do sprężania betonu, po stwardnieniu.

Historia prefabrykacji w Europie to 50 lat nieustającego postępu w technologii oraz znacznej poprawy jakości materiałów, projektów oraz procesu budowy i produkcji. Kontrola produkcji od początku uważana była za ważny element. W prefabrykacji stosowano najbardziej zaawansowane materiały, które pojawiły się na rynku.

Stalowe elementy sprężające zawsze mają duży moduł sprężystości. Używany był tylko beton o wysokiej wczesnej wytrzymałości na ściskanie, umożliwiając wprowadzanie sił sprężających we wczesnym etapie procesu produkcyjnego. Dzięki tym właściwościom, jak i surowej kontroli produkcji i wydajności, producenci prefabrykatów są w stanie produkować elementy o znacznie smuklejszym przekroju poprzecznym, niż te wykonywane na miejscu. Od samego początku prefabrykacja wymagała rygorystycznej kontroli materiałów, procesów i montażu na miejscu pracy [fotografia 2].

Użycie materiałów lepszej jakości doprowadziło do lepszych właściwości konstrukcji oraz dłuższej trwałości jej elementów. Konstrukcje budowane z wysokowartościowego betonu, produkowanego w zakładach pod ścisłą kontrolą, wykazują większą odporność na czynniki zewnętrzne niż konstrukcje betonowe wykonane *in situ*.

Prefabrykacja zawsze była i jest metodą na wprowadzanie nowych rozwiązań technologicznych w praktyce budowlanej, włącznie z in-

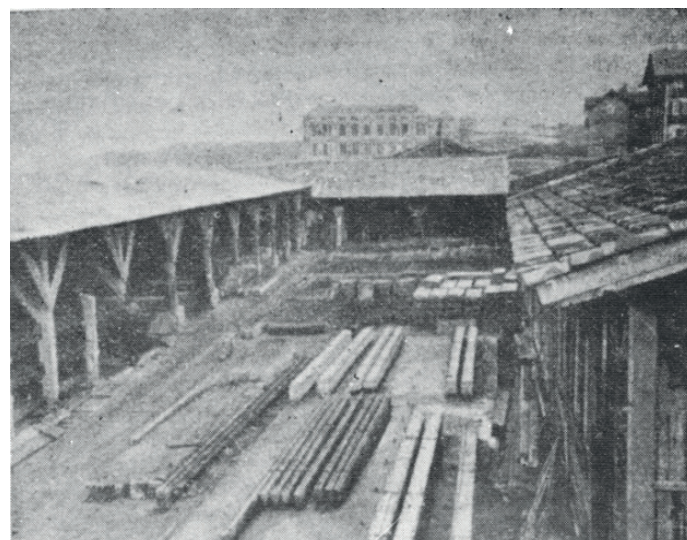
labour costs per m², as a result of automated production. Factory products are process-based and lean manufacturing principles are deployed. Automation is gradually being implemented in factories and is already in place in areas such as the preparation of reinforcing steel, mould assembly, concrete casting, and surface finishing on architectural concrete. And other stages in the process are sure to follow.

The *fib* has recently published in its Bulletin 74, "Planning and design handbook on precast building structures", a thorough description of the advanced possibilities that prefabrication in concrete offers for the new challenges in the building industry (4).

2. Advances in prefabrication

After over half a century of experimentation, Europe has generated all manner of prefabricated construction components. Building construction solutions have evolved on the back of constant improvements in technique and the fruitful collaboration among architects, engineers, designers and builders. From the outset, prefabrication exhibited an amazing capacity to provide new technical and creative solutions to architectural and building construction problems, Figure 1.

Prestressing is commonly used in prefabrication. The technique not only delivers all the advantages of prestressed concrete from the construction standpoint, but also economises on manufacturing costs because of the low labour input and the absence of the expensive anchorage devices needed for post-tensioning.



Fot. 1. Fabryka Coignet

Fig. 1. Coignet factory

The history of prefabrication with prestressed elements in Europe covers over 50 years of ongoing progress in technique and substantial improvements in material quality, component design and the construction or production process. Production control was viewed as essential from the outset. The most advanced construction materials available at any given time were used in prefabrication.

nowacyjnymi systemami jakości, które doprowadziły do stosowania certyfikatów we wszelkich pracach związanych z budową.

Od początku kontrola produkcji prefabrykatów wprowadzała najbardziej wiarygodne metody. Zanim zaczęto uznawać, że analityczne i numeryczne metody obliczeniowe zapewniają wystarczające bezpieczeństwo, przeprowadzano badania fizyczne, aby zweryfikować wykonalność techniczną prefabrykatów i powiązanych z nimi konstrukcji [fotografie 3 i 4].

Pierwsze mosty można nazwać prekursorami budowanych dzisiaj bardzo skomplikowanych, prefabrykowanych mostów o dużych rozpiętościach. Początkowo wszystkie belki sprawdzano stosując obciążanie przeprowadzane w zakładzie w celu określenia zgodności odkształceń powstałych w wyniku doświadczeń z wartością obliczeniową [fotografia 5] (5).

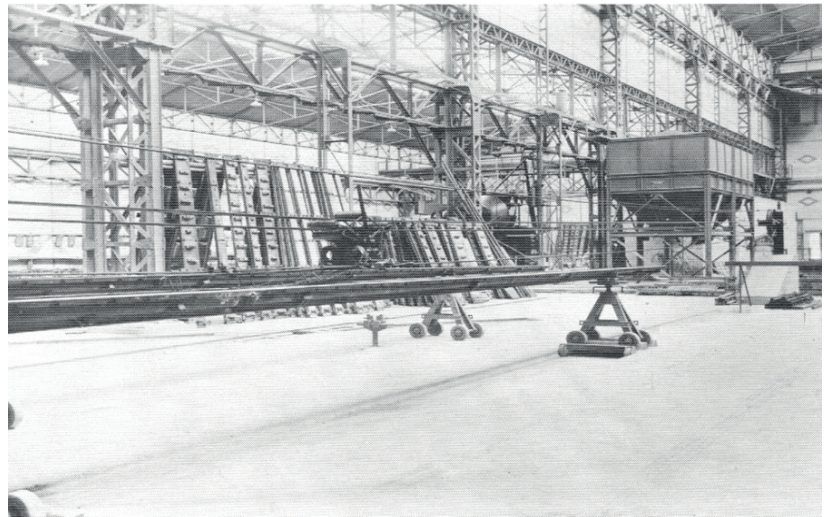
Innym ważnym powodem rozwoju przemysłu prefabrykatów w Europie były duże zdolności produkcyjne zarówno elementów konstrukcyjnych jak i elementów prefabrykowanych, wprowadzonych w roku 1945.

W późnych latach czterdziestych i wczesnych pięćdziesiątych belki były kluczowym elementem konstrukcyjnym wszelkiego rodzaju płyt nawierzchniowych. Mogły one być uzupełniane betonowymi blokami, lub innymi składnikami, w rozwiązaniach szeroko stosowanych w tamtych czasach, które przetrwały do dnia dzisiejszego. Mogły one być podobnie wykorzystywane w innych elementach. Belki te były projektowane do przenoszenia dużych obciążeń i mogły być uzupełniane betonowymi płytami *in situ* [fotografia 6] (6).

W pierwszych zakładach maszyny wyciągowe oraz transportowe nie należały do największych, co wiązało się z ograniczonymi siłami sprężającymi oraz rozmiarami odlewanych produktów. Płyty kanałowe pojawiły się w tym samym czasie w Stanach Zjednoczonych i w Europie [fotografia 7]. Dopiero późne lata czterdzieste przyniosły szeroką gamę sprężonych słupów trakcyjnych produkowanych w Europie, chociaż Freyssinet produkował je w fabryce w Montargis już od lat dwudziestych.

Na koniec lat pięćdziesiątych przypada rozwój elementów powierzchniowych, do których zaliczyć trzeba sprężone płyty TT, wykluczające zapotrzebowanie na bloki połączone z belkami. Produkowano wówczas zarówno sprężone płyty kanałowe jak i pełne. Płyty te używane są jako całe pokrycia podłogowe, oparte na legarach lub mocniejszych elementach zbliżonych do belek, albo jako prefabrykowany spód płyty nawierzchniowej, na który wylewany jest na miejscu beton. Kolejnym zastosowaniem są prefabrykowane płyty samonośne. Po opanowaniu tej technologii zaczęto produkcję większych prefabrykowanych elementów na dachy budynków przemysłowych (7 - 11).

Projekt belki prefabrykowanej sprężonej był co prawda prosty, ale nie stanowiło to jednak przeszkody w używaniu jej w skomplikowa-



Fot. 2. Fabryka elementów sprężonych w Montargis

Fig. 2. Prestressed elements Factory at Montargis

Prestressing steel has always been characterised by a high elastic modulus. Only high early age compressive strength concrete was used, to be able to introduce prestressing forces early in the manufacturing process. Thanks to these features and to strict production and performance control, precast manufacturers are able to produce elements with much more slender cross-sections than can be made *in situ*. From the very start, then, prefabrication has required rigorous quality control of materials, processes and worksite assembly, Figure 2.

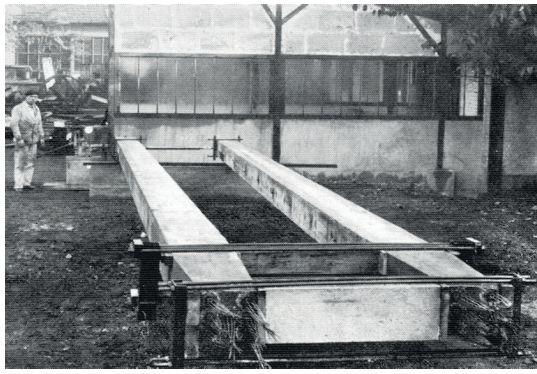
The use of higher quality materials has delivered better structural behaviour and longer durability of components. Structures made of high performance concrete produced in plants with strict manufacturing controls *in place* exhibit higher resistance to external attack than observed for *in situ* concrete structures.

Prefabrication has always been, and still is, the means for introducing new technical developments in construction practice, including innovative quality systems that have led to the application of quality certifications for construction-related activities.

From the start, prefabricated production control has always deployed the most reliable procedures. Before analytical and numerical calculation methods were regarded to ensure sufficient safety, physical trials were conducted to verify the technical viability of precast products and their related structures, Figures 3 and 4.

The first bridges would be the precursors to the very complex, large span, precast, structurally continuous bridges built today. Initially, all beams were verified by load tests run at the plant to determine whether the experimental deflection was consistent with the design value, Figure 5 (5).

Another important reason why the prefabrication industry developed in Europe was large-scale output capacity for both structural members and other precast elements that were quickly introduced starting in 1945.



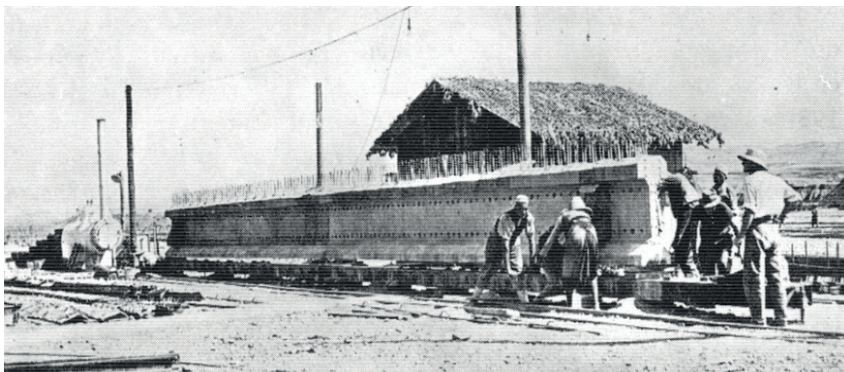
Fot. 3. Badania prefabrykowanych słupów sprężonych

Fig. 3. Conducting tests on precast prestressed poles



Fot. 4. Badania prefabrykowanych belek sprężonych

Fig. 4. Tests on precast prestressed beams



Fot. 5. Prefabrykowana belka sprężona mostu Portes de Fer

Fig. 5. Precast prestressed beam on Portes de Fer Bridge

nych konstrukcjach. Była ona wykorzystywana jako dachy obiektów przemysłowych, o dużym nachyleniu. Łączenia wykonywane były na miejscu w celu zapewnienia ciągłości konstrukcyjnej, co mogło być wczesną wersją dzisiejszych konstrukcji wspartych na ramach portalowych.

W tym okresie projektowane i produkowane były także kratownice. Składały się one z prefabrykowanych elementów łączonych ze sobą na miejscu, a łączenia te były kluczowym czynnikiem w projekcie, jak i w całej konstrukcji. W pierwszych projektach występowały małe belki, które stopniowo ewoluowały do większych belek, o większych możliwych zastosowaniach [fotografia 8].

Od lat sześćdziesiątych prefabrykacja staje się powszechnie stosowanym procesem budowlanym i pojawiają się budynki częściowo lub całkowicie prefabrykowane. Obszary przemysłowe wypełniają się obiektami w pełni prefabrykowanymi, złożonymi z takich elementów jak kolumny, belki, dźwigary lub płatwie [fotografia 9].

Jako że prefabrykacja optymalizuje użycie materiałów, charakteryzuje się też większą możliwością oszczędności niż konstrukcje z układanego na miejscu betonu. Co więcej, projekt, nowoczesny sprzęt budowlany oraz starannie rozplanowane prace przyczyniają się do zwiększenia wytrzymałości i trwałości konstrukcji betonowych [fotografia 10] (12 - 17).

In the late nineteen forties and early nineteen fifties beams were the key structural members in all manner of deck slabs. They could be supplemented with concrete blocks or other components in solutions widely used at the time and still applied today. They could likewise be used in other members. These beams were designed to bear large live loads and could be supplemented with an in situ concrete slab, Figure 6 (6).

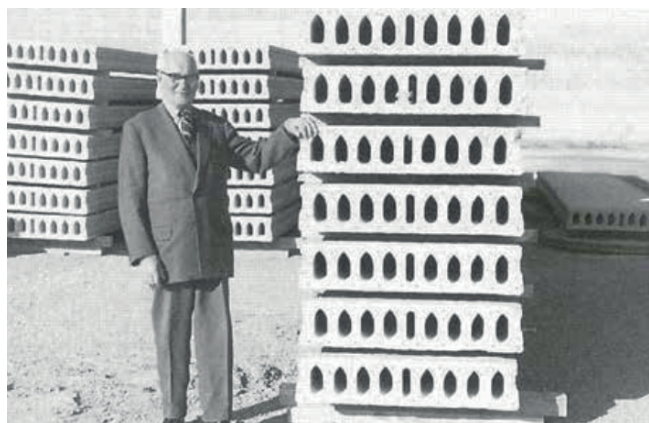
In the earliest plants, prestressing benches and hoisting and transport machinery were small-scale facilities, which limited the prestressing forces that could be induced and the size of the products that could be cast. Then Hollow core slabs were developed at the same time in the USA and in Europe, Figure 7.

Beginning in the late nineteen forties, a wide range of prestressed poles for electric power lines were also developed and manufactured in Europe, much as Freyssinet had done at his Montargis factory from the nineteen twenties onward.



Fot. 6. Belki sprężone, którym towarzyszą nowe, w tamtych czasach, bloki betonowe

Fig. 6. Prestressed beams used with the (at the time) new concrete blocks



Fot. 7. Płyty kanałowe

Fig. 7. Hollow core slabs

Do projektowania nowych budynków nieodzowna jest wyobraźnia architektoniczna. Projekt architektoniczny nie podlega już nieelastycznym elementom betonowym minionych czasów i prawie każdy budynek może być dostosowany do wymagań konstruktora lub architekta. Gracja i różnorodność nie musi zderzać się ze zwiększoną wydajnością. Minęły już czasy, kiedy industrializacja oznaczała budowanie identycznych obiektów. Wręcz przeciwnie, efektywna produkcja może iść w parze z fachowością i pozwalać na nowoczesny projekt architektoniczny, bez dodatkowych kosztów. Obecnie wygląd i wykończenie budynku może wyznaczać procesy budowlane. Prefabrykowane elementy betonowe uwzględniają szeroką gamę elementów wykończeniowych, od płaszczyzn profilowanych po wysokiej jakości beton architektoniczny. Użycie belek i kolumn o szczególnych kształtach i dobrej jakości wykończenia, może zapewnić architektom znaczną swobodę twórczą jak i środki wyrazu [fotografie 11 i 12] (18).

Beton prefabrykowany przyczynia się do zwiększenia efektywności wykorzystania elementów konstrukcyjnych. Większą rozpiętość konstrukcji można osiągnąć dzięki belkom i podłogom z prefabrykowanego, sprężonego betonu. Zwiększona efektywność konstrukcyjna jest główną korzyścią, ponieważ smuklejsze elementy mają korzystny wpływ na zmniejszenie zużycia materiałów. Największą korzystną zmianę można osiągnąć w przypadku pionowych elementów, szczególnie słupów nośnych, których nośność wzrasta o 100%, a nawet 150%, przy jednoczesnym wzroście wytrzymałości betonu z 30 MPa do 90 MPa [fotografia 13] (19 - 21).

3. Dalsze kierunki rozwoju prefabrykacji

Stosowanie betonu prefabrykowanego jest uważane za ekonomiczne, trwałe, przyjazne dla środowiska, bezpieczne i zapewniające różnorodność budowli pod względem architektonicznym. Przemysł na bieżąco stara się sprostać wymaganiom nowoczesnego społeczeństwa pod względem ekonomii, wydajności, poziomu technicznego i warunków pracy oraz oddziaływania na środowisko.

Na rozwój budownictwa i inżynierii lądowej w kolejnych dekadach z pewnością będzie miał wpływ postęp w przetwarzaniu informacji,



Fot. 8. Prefabrykowane kratownice dachowe

Fig. 8. Precast truss roof system

By the end of nineteen fifties flat or surface members such as prestressed and double-T slabs began to be developed to preclude the need for blocks in combination with beams. Both prestressed hollow core and solid slabs were produced. These slabs were used either as the entire deck floor, which rested on joists or stronger beam-type members, or as the precast bottom of a deck slab, over which a concrete top was poured on site. Self-supporting precast slabs constituted yet another application. Once this technology was mastered, larger prefabricated members for roofs on large industrial buildings also began to be built (7-11).

The simple design of precast prestressed beams was no obstacle, however, to their more imaginative use in all manner of complex structures. One common application was pointed roofs in industrial buildings, where the joints were made in situ to ensure structural continuity, perhaps an early version of the complex continuous portal frame structures built today.

Prefabricated trusses were likewise designed and built at the time. They consisted of precast elements connected and assembled in situ. The joints between these elements constituted the key factor in the design and construction of the entire structure. The original design for such industrial buildings called for small joists, which gradually evolved into the use of larger, higher capacity and higher performance beams, Figure 8.

By the nineteen sixties, when prefabrication had become a consolidated building procedure, prefabrication programmes for fully or partially prefabricated buildings began to appear. Fully prefabricated industrial buildings involving many kinds of members (columns, beams, girders, purlins and enclosure panels) soon dotted industrial estates and similar areas, Figure 9.

As prefabrication makes optimal use of materials, its potential for savings is much greater than in cast-in-situ construction. Structural performance and durability are also enhanced through design, modern manufacturing equipment and carefully planned working procedures, Figure 10 (12-17).



Fot. 9. Budynek przemysłowy

Fig. 9. Industrial building

komunikacji globalnej, uprzemysłowieniu i automatyzacji, a więc można będzie to zauważyć również w prefabrykacji. Z wydajnością procesów budowlanych związane jest płynne przejście od projektu budowlanego do efektu końcowego. Jedyną metodą odejścia od tradycyjnych i pracochłonnych metod do nowoczesnego traktowania prefabrykacji jest zastosowanie filozofii przemysłowej w całym procesie budowlanym (22 - 24).

W dzisiejszych czasach każda działalność przemysłowa związana jest z bardzo ważną kwestią – zrównoważonym rozwojem. W przemyśle budowlanym najlepszy kierunek wyznacza właśnie prefabrykacja. W rzeczywistości prowadzi ona do lepszej kontroli całego cyklu życia obiektów, a także do oszczędności materiałów i energii w trakcie budowy. Na każdym etapie procesu budowlanego dochodzi też do skrócenia czasu, zmniejszenia odpadów i pyłów, a także poziomu hałasu oraz oddziaływania na środowisko.

Prefabrykacja konstrukcji betonowych otwiera wiele możliwości na przyszłość. Niewtajemniczeni projektanci często uważają ją za technikę będącą wariantem konstrukcji wykonanych na placu budowy. Prefabrykacja znaczy dla nich tyle co wykonanie elementów konstrukcji w zakładach przemysłowych i złożenie ich na placu budowy w taki sposób, aby zgadzało się z początkową koncepcją, która dotyczyła konstrukcji wylewanych na miejscu budowy. Takie podejście jest błędne. Każda technologia budowlana ma swoją



Fot. 11. Centrum handlowe z prefabrykatów

Fig. 11. Precast commercial centre



Fot. 10. Wnętrze centrum dystrybucji z prefabrykatów

Fig. 10. Precast distribution centre. Internal view

Architectural freedom is needed to create new building designs. Architectural design is no longer subject to the inflexible concrete elements of yesteryear and almost any building can be adapted to the builder's or the architect's requirements. Architectural grace and variety need not clash with increased efficiency. Gone are the days when industrialization meant large numbers of identical units. On the contrary, efficient production can be combined with skilled workmanship, allowing for modern architectural design at no extra cost. In today's society, building appearance and finishes may largely determine construction procedures. Precast concrete elements accommodate a wide variety of finishes, ranging from carefully moulded surfaces to high quality architectural concrete. The use of beams and columns with special shapes and high quality finishes can afford architects considerable creative freedom and range of expression, Figures 11 and 12 (18).

Precast concrete offers considerable scope for improving structural efficiency. Longer spans and shallower construction depths can be obtained by using precast prestressed concrete for beams and floors. The major benefit for building structures lies in improved structural efficiency, for more slender components optimise the use of materials. The greatest comparative advantage is attained with vertical members, especially load bearing columns, whose



Fot. 12. Prefabrykowane panele betonowe, otoczenie centrum handlowego

Fig. 12. Precast concrete panels for a commercial centre

specyfikę, która w różnym stopniu wpływa na układ konstrukcyjny, jego rozpiętość i szerokość, a także trwałość. Dlatego też aby osiągnąć jak najlepszy wynik, projekt powinien od samego początku przestrzegać szczegółowych wymagań zamierzonej konstrukcji [fotografie 14 i 15].

Projekt budynku nie jest określony przez sztywne elementy betonowe i prawie każdy budynek można dostosować do wymagań konstruktora lub architekta. Elegancja architektoniczna i różnorodność nie wykluczają zwiększenia efektywności. Minęły już czasy, gdy uprzemysłowienie oznaczało ogromną ilość jednakowych elementów. Wydajny proces produkcyjny może łączyć się ze specjalistycznym wykonaniem co zezwala na nowoczesne projekty architektoniczne, bez dodatkowych kosztów. Nowe techniki związane z automatyzacją będą najpierw stosowane w przemyśle prefabrykatów betonowych – fotografia 16.

Niektóre rodzaje budynków muszą być adaptowalne do potrzeb użytkownika. Tak jest w przypadku biur. Najodpowiedniejszym rozwiązaniem jest ogromna otwarta przestrzeń wewnątrz, z nieograniczoną możliwością podziału poprzez wstawianie ścianek działowych. Beton prefabrykowany ma więcej atutów niż te wymienione do tej pory. Współczesna praktyka została pozbawiona nadmiernej powtarzalności produktów, długich okresów projektowania i produkcji. Dzięki nowoczesnym technikom oraz produkcji wspieranej komputerowo, w połączeniu z modelowaniem informacji o budynku [BIM] osiągnięto elastyczność i krótki czas realizacji, co jest główną korzyścią handlową prefabrykacji [fotografia 17].



Fot. 14. Prefabrykowany wysoki biurowiec

Fig. 14. Precast tall building for offices



Fot. 13. Prefabrykowany biurowiec

Fig. 13. Precast building for offices

bearing capacity rises by 100 to 150 % when the concrete strength is increased from 30 to 90 N/mm², Figure 13 (19-21).

3. Trends in prefabrication

The use of precast concrete in construction is widely regarded as an economic, durable, environmentally friendly, structurally sound and architecturally versatile form of construction. The precast concrete industry is continuously making efforts to keep on line with the demands of modern society: economy, efficiency, technical performance, safety, labour circumstances and environmental friendliness.

The evolution of building construction and civil engineering works during the next decades will undoubtedly be influenced by the developments in information processing, global communication, industrialization and automation. These are already certain to be implemented in prefabrication. However, when looking into the efficiency of present building processes, there must be a smoother transition from the design of the construction to its completion. The only way to move forward from the traditional labour intensive methods to the modern approach of prefabrication is to apply an industrial philosophy throughout the entire building process (22-24).

Sustainability is a major issue in any industrial activity today. In the building industry, prefabrication is able to provide the best approach to this end. In fact, the whole life-cycle can be better controlled. Industrialized production of elements allows for saving materials and energy when constructing. In all phases, time, waste, noise and dust, in a whole environmental impact, are reduced.

Prefabrication of concrete structures is an industrialized process with a large potential for the future. It is often considered by uninitiated designers as a variant execution technique of cast in-situ construction, where the notion of prefabrication means that parts of the construction are precast in specialized plants, to be

Obecnie konstrukcja stanowi niewielką część kosztów budowy oraz utrzymania całego obiektu. Budowa może zostać uzupełniona przez usługi mechaniczno-elektryczne. Inną ważną korzyścią prefabrykowanych konstrukcji jest możliwość zaprojektowania ich z uwzględnieniem wymagań obiektu. Prefabrykacja ułatwia także usługi mechaniczno-elektryczne. Masa termiczna betonu skutecznie przechowuje energię ciepłą w stropach z płyt kanałowych co prowadzi do oszczędności w ogrzewaniu budynku. Nawet obecnie większość czynności budowlanych stanowi obciążenie dla środowiska w zakresie zapotrzebowania na energię, użycia zasobów naturalnych, zanieczyszczenia, hałasu i produkcji odpadów.

Beton prefabrykowany jest powiązany z najbardziej zaawansowanymi technikami w budownictwie jak i z najbardziej zrównoważonym wykorzystaniem zasobów. Budownictwo będzie w przyszłości ściśle związane z uprzemysłowieniem i prefabrykacją. Montaż wyposażenia technicznego budynku można włączyć do budownictwa. Zaletą będzie zaprojektowanie elementów prefabrykowanych pod kątem wyposażenia budynku. Mogą to być elementy z różnymi otworami czy mocowaniami oraz inne możliwości dostępne po wzniesieniu budynku [fotografia 18].

Z tego względu najnowsza generacja budynków z prefabrykowanego betonu ewoluowała przez ostatnie 30 lat do budynków o dużym zróżnicowaniu. Elementy konstrukcji architektonicznych z prefabrykowanego betonu pojawiają się w wielu prestiżowych budynkach komercyjnych, gdzie w połączeniu z elementami sta-



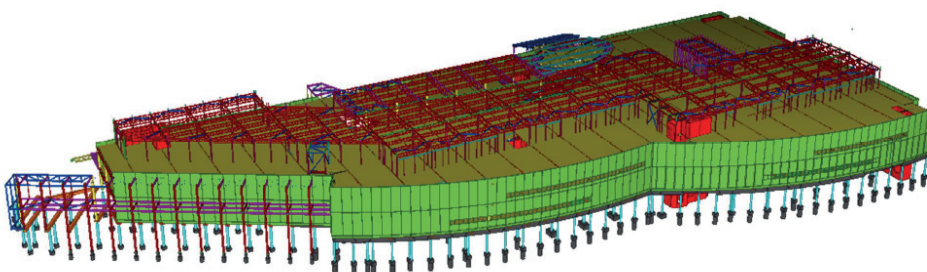
Fot. 15. Prefabrykowany wysoki budynek, o wyjątkowej konstrukcji

Fig. 15. Precast tall building with special design



Fot. 16. Druk przestrzenny zastosowany do budowy domu z prefabrykatów

Fig. 16. 3D printing system applied to prefabrication of a house

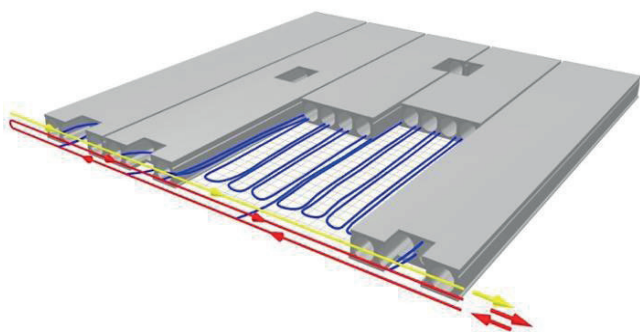


Fot. 17. Metoda BIM zastosowana w prefabrykacji

Fig. 17. BIM system applied to prefabrication

assembled afterwards on site in such a way that the initial concept of cast in-situ structures is obtained again. This viewpoint is false. Every construction system has its own characteristics which to a greater or lesser extent influence the structural lay-out, span and width, stability system, etc. For the best results a design should, from the very outset, respect the specific and particular demands of the intended structure, Figures 14 and 15.

The design of the building is not fixed by rigid concrete elements and almost every building can be adapted to the requirements of the builder or the architect. There is no contradiction between architectural elegance and variety on the one hand and increased efficiency on the other. The days are gone when industrialization meant large numbers of identical units; on the contrary, an efficient production process can be combined with skilled workmanship, which permits a modern architectural design without extra costs. Also the



Fot. 18. Wyposażenie techniczne z wykorzystaniem prefabrykatów

Fig. 18. Services inside precast elements

lowymi, murarskimi, drewnem i plastikiem zapewniają holistyczne korzyści w całym procesie budownictwa. W fazie rozwoju znajdują się nowe materiały, a mianowicie beton typu UHPFRC, czy beton z włóknami węglowymi, które już są stosowane w specjalnych, prefabrykowanych elementach [fotografia 19].

Projektanci mają coraz większą pewność wysokiej jakości elementów wykończeniowych z prefabrykatów, co spowoduje zmiany w rozwiązaniach projektowych tradycyjnych, prefabrykowanych konstrukcji. Przemysł budowlany zachęca do opracowywania wielofunkcyjnych realizacji, w których można by zwiększyć najlepsze wykorzystanie wszystkich elementów tworzących budynek. Prefabrykacja nie może być więc dłużej ignorowana we wstępnej analizie budynku, ani jako całości ani w przypadku jego elementów.

Literatura / Rererences

1. Evolución de la prefabricación para la edificación en España. Medio siglo de experiencia. M. Burón y D. Fernández-Ordóñez. Informes de la Construcción, Vol 48 n° 448, marzo/abril 1997.
2. Eugène Freyssinet. J.A. Fernández Ordóñez. 2C Ediciones. Barcelona 1978.
3. "Arquitectura y Represión. Seminario de Prefabricación". J.A. Fernández Ordóñez. Cuadernos para el Diálogo, 1973.
4. L'art de l'ingénieur, constructeur, entrepreneur, inventeur. A. Picon. Centre Georges Pompidou, Le Moniteur 1997.
5. "Pensar la Ingeniería. Antología de Textos de José Antonio Fernández Ordóñez". J.R. Navarro Vera. Colegio de Ingenieros de Caminos, Canales y Puertos y Fundación Juanelo Turriano, Madrid, 2009.
6. "Prefabrication for Affordable Housing. State of the Art Report". Bull 60. Fib Commission 6 Prefabrication. DCC. Germany 2011.
7. fib Bulletin 6: Guide to good practice "Special design considerations for precast prestressed hollow core floors", ISBN 2-88394-046-0, 2000.
8. fib TG 6.1 Design recommendations "Precast prestressed hollow core floors" in preparation. Publication foreseen for 2019.
9. FIP Guide to good practice, "Shear at the interface of precast and in situ concrete"; January 1982, ISBN 0 907862 02 0.
10. FIP Recommendations "Precast prestressed hollow core floors" - FIP Commission on Prefabrication, Thomas Telford 1988 - ISBN 0 7277 1375 2.



Fot. 19. Prefabrykowana belka wzmocniona włóknami węglowymi

Fig. 19. Precast beam with carbon fibre reinforcement

new automatization techniques will be implemented first in the precast industry, Figure 16.

Certain types of buildings are frequently required to be adaptable to the user's needs. This is especially the case with offices. The most suitable solution to this effect is to create a large free internal space without any restriction to possible subdivisions with partition walls. Precast concrete has many more assets than are mentioned above, and excessive repetition of products or long design and manufacture periods are no longer found in contemporary practice. On the contrary, thanks to modern production techniques and computer aided manufacture in combination with Building Information Modelling (BIM), flexibility combined with short delivery times has become a major commercial advantage of prefabrication, Figure 17.

Today structure accounts for only a small portion of total building construction and maintenance costs. M&E services can be integrated into the construction system. Another major advantage is that precast structures can be designed to specific building facility needs. Prefabrication also provides certain advantages with respect to M&E services. The thermal mass of concrete has been efficiently used to store thermal energy in hollow core floors, for instance, leading to substantial savings in heating costs. Even today, most construction activities continue to place a heavy burden on the environment in terms of energy demand, use of resources, pollution, noise and waste production.

Precast concrete is linked to the most advanced techniques in construction and also to the most sustainable uses and processes. The future in construction will be intimately linked to industrialization and prefabrication. The installation of building services can be integrated into the building system. A major advantage is that the precast structure can be designed according to the specific needs of the building equipment. Elements can be provided with a variety of holes, fixings can be cast in the units, and a lot of additional means are available on site after erection of the precast building, Figure 18.

11. FIP Guide to good practice: "Quality assurance of hollow core slabs" - FIP Commission on prefabrication, July 1992, SETO, ISBN 1 8747266 8.
12. *fib* Bulletin 19: State-of-art Report "Precast Concrete in Mixed Construction", 2002.
13. FIP Guide to good practice "Composite floor structures" - FIP Commission on Prefabrication, SETO 1998, ISBN 1 874266 38 7.
14. *fib* bulletin 41: "Treatment of imperfections in precast concrete structural elements", 2007, ISBN 978-2-88394-081-9.
15. *fib* Bulletin 43: Guide to good practice "Structural connections for precast concrete buildings", *fib* Commission on Prefabrication, February 2008.
16. *fib* Bulletin 46: State of art report "Fire design of concrete structures - structural behaviour and assessment", ISBN 978-2-88394-086-4, July 2008.
17. *fib* Bulletin 63: Guide to good practice "Design of precast concrete structures against accidental actions", ISBN 978-2-88394-103-8.
18. *fib* TG 6.11: Guide to good practice "Precast insulated sandwich panels".
19. *fib* Bulletin 74: "Planning and design handbook on precast building structures". Manual - textbook (ISBN 978-2-88394-114-4, September 2014).
20. *fib* Bulletin 78. "Precast-concrete buildings in seismic areas". State-of-the-art report (ISBN 978-2-88394-118-2, March 2016).
21. FIP: "Planning and Design Handbook on precast building structures" - FIP Commission on Prefabrication, SETO Ltd 1994, ISBN 1 874266 11 5.
22. CEB-FIP Model Code for Concrete Structures, Paris Bulletin d'information du CEB Nr 124/125, Volume II, April 1978.
23. CEB-FIP Model Code for concrete structures 1990, London, Thomas Telford, 1991.
24. *fib* Model Code for concrete structures 2010, Berlin, Ernst&Sohn, 2013.

Therefore, the latest generation of precast concrete buildings has evolved over the past 30 years into buildings of high specification. Architectural structural precast concrete elements are being used on an increasing number of prestigious commercial buildings, and steelwork, timber, plastics and masonry are being combined for the holistic benefit of the entire building process. Also the new materials that are in this very moment under development like UHPFRC and carbon concrete are already applied to special precast works, Figure 19.

Designers are becoming more aware of the high quality finishes possible in prefabricated units, and changes are now being made to the way that the traditional precast structures are conceived and designed. The construction industry is calling for multi-functional design, where the optimum use of all the elements forming the building must be maximised. Precasting cannot be ignored any longer at the initial study of buildings, either for the total structure or for parts of it.