

dr David Fernández-Ordóñez Hernández¹⁾

Prefabrykacja betonowa. Lekcje z przeszłości i postępy w przyszłości

Początki prefabrykacji, tzn. zastosowania procesów przemysłowych w budownictwie, sięgają początku XVIII 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 [3, 4]. Od początku prefabrykacja rozwijała się dynamicznie. Uprzemysłowienie budownictwa wymaga przeniesienia prac z tymczasowych placów budowy do nowoczesnych zakładów. Produkcja fabryczna pociąga za sobą racjonalne i efektywne procesy produkcyjne, zatrudnienie wykwalifikowanych pracowników, usystematyzowanie powtarzalnych zadań i niższe koszty pracy w przeliczeniu na metr kwadratowy, wynikające ze zautomatyzowanej 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.

Ostatnio *fib* opublikowało w Biuletynie 74, *Planning and design handbook on precast building structures*, szczegółowy opis zaawansowanych rozwiązań w prefabrykacji betonu [15].

Rozwój prefabrykacji

Po ok. 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. Powszechnie stosowane w prefabrykacji jest sprężanie. Technika ta zapewnia nie tylko zalety sprężonego betonu, ale także prowadzi do zmniejszenia kosztów produkcyj-

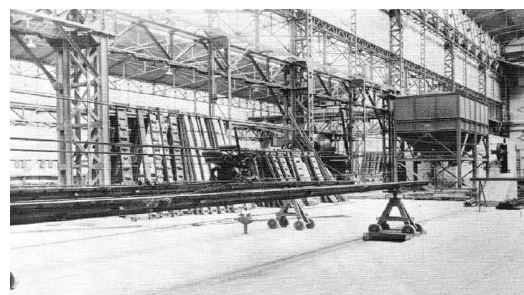
nych, wynikających z niewielkich nakładów pracy i braku drogich urządzeń mocujących zbrojenie sprężające. Historia prefabrykacji w Europie to 50 lat nieustającego postępu w technologii oraz znacznej poprawy jakości materiałów, projektów oraz procesu budowy i produkcji. Od początku bardzo ważną była kontrola produkcji. W prefabrykacji stosowano najbardziej zaawansowane materiały, które pojawiły się na rynku. Stosowano tylko beton o wysokiej wczesnej wytrzymałości na ściskanie, umożliwiającą wprowadzanie sił sprężających we wczesnym etapie procesu produkcyjnego, a stalowe elementy sprężające zawsze miały duży moduł sprężystości. Dzięki temu oraz surowej kontroli produkcji, producenci prefabrykatów są w stanie produkować elementy o znacznie smuklejszym przekroju poprzecznym niż wykonywane na miejscu budowy. Od samego początku prefabrykacja wymagała rygorystycznej kontroli materiałów, procesów i montażu na miejscu pracy (fotografia 1).

Konstrukcje wykonywane z betonu o dużej wytrzymałości, produkowanego w zakładach pod ścisłą kontrolą, wykazują większą odporność na czynniki zewnętrzne niż konstrukcje betonowe wykonane *in situ*.

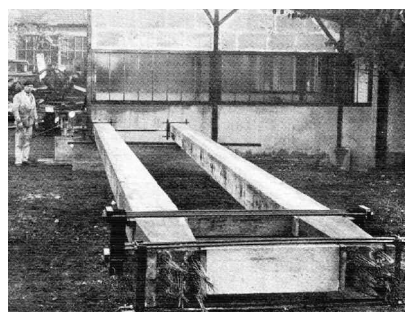
Prefabrykacja zawsze była i jest metodą na wprowadzanie nowych rozwiązań technologicznych w praktyce budowlanej, włącznie z innowacyjnymi systemami jakości, które doprowadziły do stosowania certyfikatów we wszelkich pracach związanych z budową.

Od początku kontrola produkcji prefabrykatów wprowadzała najbardziej wiarygodne metody. Zanim uznano, że analityczne i numeryczne metody obliczeniowe zapewniają wystarczające bezpieczeństwo, przeprowadzano badania fizyczne (fotografie 2, 3).

Pierwsze mosty można nazwać prekursorami budowanych dzisiaj bardzo skomplikowanych, prefabrykowanych mostów o dużej rozpiętości. Początko-



Fot. 1. Fabryka elementów sprężonych w Montargis



Fot. 2. Badanie prefabrykowanych słupów sprężonych



Fot. 3. Badanie prefabrykowanych belek sprężonych

wo wszystkie belki sprawdzano, stosując obciążanie w zakładzie w celu określenia zgodności odkształceń powstałych w wyniku doświadczeń z wartością obliczeniową.

W późnych latach czterdziestych i wczesnych pięćdziesiątych XX wieku; belki były kluczowym elementem konstrukcyjnym wszelkiego rodzaju płyt nawierzchniowych. Mogły one być uzupełniane betonowymi blokami lub innymi elementami, w rozwiązaniach powszechnie stosowanych w tamtych

¹⁾ Sekretarz Generalny fib;

czasach, które przetrwały do dnia dzisiejszego. Belki były projektowane do przenoszenia dużych obciążeń i mogły być uzupełniane betonowymi płytami *in situ*, co pokazano na fotografii 4 [16]. W pierwszych zakładach maszyny wyciągowe oraz transportowe nie należały do największych, co wiązało się z ograniczonymi siłami sprężającymi oraz rozmiarami odlewanych produktów. W tym samym czasie w Stanach Zjednoczonych i w Europie pojawiły się płyty kanałowe. Dopiero późne lata czterdzieste przyniosły dużą liczbę sprężonych słupów trakcyjnych produkowanych w Europie, chociaż firma Freyssinet produkowała je w fabryce w Montargis już od lat dwudziestych XX wieku.



Fot. 4. Belki sprężone, którym towarzyszą nowe, w tamtych czasach, bloki betonowe

Na koniec lat pięćdziesiątych XX wieku przypada rozwój elementów powierzchniowych, do których należy zaliczyć sprężone płyty TT, eliminujące zapotrzebowanie na bloki połączone z belkami. Produkowano wówczas zarówno sprężone płyty kanałowe, jak i pełne. Płyty te stosowane są jako podkłady podłogowe, oparte na legarach lub mocniejszych elementach zbliżonych do belek lub jako prefabrykowany spód płyty nawierzchniowej, na który wylewany jest beton. Kolejnym zastosowaniem są prefabrykowane płyty samonośne. Po opanowaniu tej technologii zaczęto produkcję większych prefabrykowanych elementów na dachy budynków przemysłowych [5, 6, 11 ÷ 13].

Projekt belki prefabrykowanej sprężonej był co prawda prosty, ale nie stanowiło to jednak przeszkody w używaniu jej w skomplikowanych konstrukcjach. Była ona wykorzystywana na dachy obiektów przemysłowych o dużym nachyleniu. Łączenia wykonywano na miejscu budowy, w celu za-

pewnienia 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. Połączenia te były kluczowym czynnikiem w projekcie i w całej konstrukcji. W pierwszych projektach występowały małe belki, które stopniowo ewoluowały do większych (fotografia 5). Od lat sześćdziesiątych XX wieku prefabrykacja stała się powszechnie stosowana w budownictwie.



Fot. 5. Prefabrykowane kratownice dachowe

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. 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. Prefabrykowane elementy betonowe uwzględniają szeroką gamę elementów wykończeniowych, od płaszczyn profilowanych po wysokiej jakości beton architektoniczny. Użycie belek i kolumn o szczególnym kształcie i dobrej jakości wykończenia może zapewnić architektom znaczną swobodę twórczą (fotografia 6) [7].

Beton prefabrykowany przyczynia się do zwiększenia efektywności wykorzystania elementów konstrukcyjnych (smuklejsze elementy mają wpływ na zmniejszenie zużycia materiałów). Największą korzystną zmianę można osiągnąć w przypadku pionowych elementów, szczególnie słupów nośnych, któ-



Fot. 6. Centrum handlowe z prefabrykatów

rych nośność wzrasta o 100%, a nawet 150%, przy jednoczesnym zwiększeniu wytrzymałości betonu z 30 do 90 MPa [8, 9, 14].

Kierunki rozwoju prefabrykacji

Stosowanie betonu prefabrykowanego jest uważane za ekonomiczne, trwałe, przyjazne dla środowiska, bezpieczne i zapewniające różnorodność budowli pod względem architektonicznym. Na rozwój budownictwa i inżynierii lądowej w kolejnych dekadach z pewnością będzie miał wpływ postęp w przetwarzaniu informacji, 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 [1, 2, 10].

W dzisiejszych czasach każda działalność przemysłowa związana jest ze 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 podczas budowy. Na każdym etapie procesu budowlanego dochodzi też do skrócenia czasu, zmniejszenia ilości odpadów i pyłów, a także poziomu hałasu oraz oddziaływania na środowisko. Prefabrykacja konstrukcji betonowych otwiera wiele możliwości na przyszłość. Każda technologia budowlana ma swoją specyfikę, która w różnym stopniu wpływa na układ konstrukcyjny, jego rozpiętość i szerokość, a także trwałość. W związku z tym, aby osią-

gnąć jak najlepszy wynik, projekt powinien od samego początku uwzględniać wymagania zamierzonej konstrukcji.

Projekt budynku nie jest określony przez sztywne elementy betonowe i prawie każdy budynek można dostosować do wymagań konstruktora lub architekta. Minęły już czasy, gdy uprzemysłowienie oznaczało ogromną liczbę 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 7).

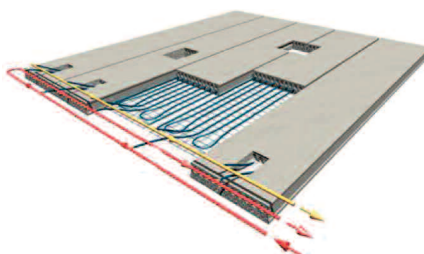


Fot. 7. Druk przestrzenny zastosowany do budowy domu z prefabrykatów

Niektóre rodzaje budynków muszą być adaptowalne do potrzeb użytkownika. Tak jest w przypadku biur. Najodpowiedniejszym rozwiązaniem jest ogromna otwarta przestrzeń wnętrza, z nieograniczoną możliwością podziału przez wstawianie ścianek działowych. Beton prefabrykowany ma więcej atutów niż wymienione dotychczas. 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 prefabrykacji.

Obecnie konstrukcja stanowi niewielką część kosztów budowy oraz utrzymania całego obiektu. Prefabrykаты mogą być uzupełnione o instalacje mechaniczno-elektryczne. Masa ter-

miczna betonu skutecznie przechowuje energię cieplną w stropach z płyt kanałowych, co prowadzi do oszczędności w ogrzewaniu budynku. Nawet obecnie większość czynności budowlanych stanowi obciążenie dla środowiska ze względu na zapotrzebowanie na energię, zużycie zasobów naturalnych, zanieczyszczenie, hałas i wytwarzanie odpadów. Beton prefabrykowany jest powiązany z najbardziej zaawansowanymi technikami w budownictwie i z najbardziej zrównoważonym wykorzystaniem zasobów. **Budownictwo będzie w przyszłości ściśle związane z uprzemysłowieniem i prefabrykacją.** Montaż wyposażenia technicznego budynku można włączyć do prefabrykacji. Mogą to być elementy z różnymi otworami czy mocowaniami itp. (fotografia 8). Najnowsza generacja budynków z prefabrykowanego betonu ewoluowała przez ostatnie trzydzieści lat do obiektów o różnym przeznaczeniu. 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.



Fot. 8. Wyposażenie techniczne z wykorzystaniem prefabrykatów

Projektanci mają coraz większą pewność elementów wykończonych z prefabrykatów o bardzo dobrej jakości, co spowoduje zmiany w rozwiązaniach projektowych tradycyjnych, prefabrykowanych konstrukcji. Przemysł budowlany zachęca do opracowywania obiektów wielofunkcyjnych, w których można zwiększyć wykorzystanie wszystkich elementów.

Prefabrykacja nie może być więc dłużej ignorowana przy projektowaniu budynku jako całości ani jego elementów.

Literatura

- [1] CEB-FIP Model Code for Concrete Structures, Paris Bulletin d'information du CEB Nr 124/125, Volume II, April 1978.
- [2] CEB-FIP Model Code for concrete structures 1990, London, Thomas Telford, 1991.
- [3] Eugène Freyssinet. J. A. Fernández Ordóñez. 2C Ediciones. Barcelona 1978.
- [4] Evolución de la prefabricación para la edificación en España. Mediosiglo de experiencia. M. Burón y D. Fernández-Ordóñez. Informes de la Construcción, Vol 48 n° 448, marzo/abril 1997.
- [5] fib Bulletin 6: Guide to good practice „Special design considerations for precast prestressed hollow core floors”, ISBN 2-88394-046-0, 2000.
- [6] fib TG 6.1 Design recommendations „Precast prestressed hollow core floors” in preparation. Publication foreseen for 2019.
- [7] fib TG 6.11: Guide to good practice „Precast insulated sandwich panels”.
- [8] fib Bulletin 74: „Planning and design handbook on precast building structures”. Manual – textbook (ISBN 978-2-88394-114-4, September 2014).
- [9] fib Bulletin 78. „Precast-concrete buildings in seismic areas”. State-of-the-art report (ISBN 978-2-88394-118-2, March 2016).
- [10] fib Model Code for concrete structures 2010, Berlin, Ernst&Sohn, 2013.
- [11] FIP Guide to good practice, „Shear at the interface of precast and in situ concrete”; January 1982, ISBN 0 907862 02 0.
- [12] FIP Recommendations „Precast prestressed hollow core floors” – FIP Commission on Prefabrication, Thomas Telford 1988 – ISBN 0 7277 1375 2.
- [13] FIP Guide to good practice: „Quality assurance of hollow core slabs” – FIP Commission on prefabrication, July 1992, SETO, ISBN 1 8747266 8.
- [14] FIP: „Planning and Design Handbook on precast building structures” – FIP Commission on Prefabrication, SETO Ltd 1994, ISBN 1 874266 11 5.
- [15] L'art de l'ingénieur, constructeur, entrepreneur, inventeur. A. Picon. Centre Georges Pompidou, Le Moniteur 1997.
- [16] „Prefabrication for Affordable Housing. State of the Art Report”. Bull 60. Fib Commission 6 Prefabrication. DCC. Germany 2011.

Partner działu:

Stowarzyszenie Producentów Betonów

