



# Prefabrykacja

– jakość, trwałość, różnorodność

- Zeszyt 1 -

skierowany do:  
inwestorów, projektantów,  
wykonawców, inżynierów,  
studentów budownictwa,  
uczniów techników budowlanych

## Autorzy: dr inż. Grzegorz Adamczewski dr hab. inż. Piotr Woyciechowski

**Współpraca i konsultacje:**  
**Mariusz Bangrowski,**  
PRECON Polska Sp. z o.o.

**Bronisław Deskur,**  
PEKABEX Bet S.A.

**Arkadiusz Gacki,**  
CONSOLIS Polska Sp. z o.o.

**Marcin Landman,**  
GRALBET Sp. z o.o.

**Tomasz Lorek,**  
FABUD WKB S.A.

**Joanna Maciejko,**  
COMFORT S.A.

**Jan Makuszewski,**  
Doradca Techniczny SPB

**Grzegorz Marzec,**  
FABET S.A.

**Marzena Nowaczyk,**  
PREFABET BIAŁE BŁOTA S.A.

**Marek Roicki,**  
COMFORT S.A.

**Michał Skrzypczyński,**  
CHRYSO Polska Sp. z o.o.

**Anna Stankiewicz,**  
JORDAHL & PFEIFER TECHNIKA  
BUDOWLANA Sp z o.o.

**Piotr Szymanowski,**  
BETARD Sp. z o.o.

**Piotr Święconek,**  
ERGON Poland Sp. z o.o.

**Tomasz Wrona,**  
SIBET S.A.

Wydawca  
Stowarzyszenie Producentów Betonów  
Warszawa, październik 2014

Copyright © by Stowarzyszenie Producentów Betonów  
Warszawa 2014

<b>Przedmowa .....</b>	<b>3</b>
<b>1. Wstęp.....</b>	<b>4</b>
1.1. Rys historyczny.....	6
1.2. Koncepcja ogólna prefabrykacji.....	8
<b>2. Zagadnienia ogólne.....</b>	<b>9</b>
2.1. Charakterystyczne cechy budownictwa z prefabrykatów.....	9
2.2. Podejście do projektowania.....	10
2.3. Bezpieczeństwo pożarowe.....	12
2.4. Wymagania z zakresu fizyki budowli.....	12
<b>3. Potencjał techniczny prefabrykacji.....</b>	<b>13</b>
3.1. Przygotowanie produkcji.....	14
3.2. Procesy produkcyjne.....	14
3.3. Linia produkcyjna.....	21
3.4. Transport prefabrykatów.....	25
3.5. Montaż.....	26
3.6. Połączenia elementów konstrukcyjnych.....	27
<b>4. Asortyment wyrobów.....</b>	<b>32</b>
4.1. Kryteria klasyfikacji wyrobów prefabrykowanych.....	32
4.2. Budownictwo publiczne.....	33
4.3. Budownictwo przemysłowe.....	34
4.4. Budownictwo infrastrukturalne.....	35
4.5. Budownictwo mieszkaniowe.....	37
<b>5. Prefabrykacja we współczesnym budownictwie.....</b>	<b>38</b>
5.1. Obiekty kubaturowe o konstrukcji nośnej szkieletowej – hale, biurowce.....	38
5.2. Obiekty kubaturowe z prefabrykowanymi ścianami nośnymi – budynki mieszkalne i biurowe.....	47
5.3. Obiekty infrastruktury transportowej – konstrukcje inżynierskie drogowo-mostowe.....	51
5.4. Obiekty infrastruktury technicznej – uzbrojenie terenu, zbiorniki i kominy.....	57
5.5. Budownictwo niestandardowe, elewacje z prefabrykatów, mała architektura.....	59

## PRZEDMOWA

### Szanowni Państwo,

Przekazujemy do Waszych rąk Zeszyt 1. którym Stowarzyszenie Producentów Betonów rozpoczyna cykl wydawniczy pt. „Prefabrykacja – jakość, trwałość, różnorodność”. Celem tego przedsięwzięcia jest kompleksowe przedstawienie możliwości nowoczesnej prefabrykacji betonowej oraz dostarczenie maksimum rzetelnej informacji uczestnikom procesu inwestycyjnego o tym bardzo ważnym, ale zbyt często niedocenianym rodzaju budownictwa.

Wydawnictwo zostało podzielone na bloki tematyczne, które zostaną zaprezentowane w sześciu kolejnych zeszytach. Formuła zeszytowa, przy założeniu, że każdy z zeszytów powinien być redagowany według jednolitego schematu, naszym zdaniem, znacznie ułatwia korzystanie z materiałów źródłowych.

Zeszyty o prefabrykacji adresowane są przede wszystkim do projektantów, architektów, inżynierów, inwestorów i wykonawców jako warsztat pracy i źródło wiedzy o stosowaniu nowoczesnej prefabrykacji betonowej w różnych rodzajach budownictwa. Powinny stanowić także podręcznik dla studentów i uczniów średnich szkół zawodowych kształcących w dziedzinie budownictwa.

Autorami Zeszytu 1. są dr inż. Grzegorz Adamczewski i dr hab. inż. Piotr Woyciechowski z Politechniki Warszawskiej. Podkreślić jednak należy, że powstał on w wyniku ścisłej współpracy i konsultacji z delegowanymi przez przedsiębiorstwa specjalistami.

**Ryszard Zając**  
Prezes SPB

- **Zeszyt 1.**
  - rozpoczynający cykl wydawniczy, prezentujący istotę prefabrykacji oraz korzyści z jej stosowania,
- **Zeszyt 2.**
  - konstrukcje przemysłowe, halowe i szkieletowe realizowane z elementów prętowych,
- **Zeszyt 3.**
  - obiekty kubaturowe mieszkalne i inne, w których głównym układem konstrukcyjnym są ściany,
- **Zeszyt 4.**
  - obiekty infrastruktury drogowo-mostowej,
- **Zeszyt 5.**
  - konstrukcje uzbrojenia terenu, zbiorniki itp.,
- **Zeszyt 6.**
  - prefabrykacja elewacji oraz prefabrykacja niestandardowa.



## WSTĘP

Prefabrykaty z betonu są stosowane w budownictwie od wielu lat. Nie ulega wątpliwości, że beton jest jednym z najpopularniejszych i najbardziej uniwersalnych materiałów stosowanych w budownictwie.

Coraz częściej jest wykorzystywany nie tylko jako materiał konstrukcyjny, lecz także wykończeniowy. Jest łatwy do kształtowania, estetyczny, a dzięki rozwojowi techniki może uzyskiwać różne faktury i kolorystykę. Stanowi doskonałe narzędzie do konstruowania nowoczesnych brył i kształtowania przestrzeni.

Skala wykorzystania prefabrykacji betonowej w Europie jest bardzo różna. W niektórych krajach jej zastosowanie ogranicza się do produkcji bardzo typowych elementów, głównie stropów, ścian warstwowych i jednowarstwowych, czy belek dla budownictwa mieszkaniowego lub użyteczności publicznej. W innych natomiast zakres wykorzystania prefabrykatów obejmuje także w dużym stopniu budownictwo inżynierne i drogowe.

Zauważalny w ostatnich latach postęp w dziedzinie prefabrykacji w Europie związany jest zarówno z wdrażaniem nowych technologii produkcji, jak i nowymi rozwiązaniami i zastosowaniami elementów prefabrykowanych. Wytwarzane w warunkach przemysłowych umożliwiają uzyskanie wysokiej wydajności przy jednoczesnym zapewnieniu powtarzalności właściwości użytkowych, zgodnych z deklaracją producenta, wymaganych przez rozporządzenie Parlamentu Europejskiego i Rady (UE) nr 305/2011 ustanawiające zharmonizowane warunki wprowadzenia do obrotu wyrobów budowlanych. Należy jednocześnie zwrócić uwagę, że zaletą stosowania prefabrykatów z betonu jest możliwość ich wykorzystywania w połączeniu z innymi materiałami konstrukcyjnymi, w tak zwanych konstrukcjach hybrydowych, w których różne materiały mogą pracować niezależnie lub współpracować ze sobą, pełniąc różne funkcje w konstrukcji. Często jedynym ze składowych elementów konstrukcji hybrydowych, projektowanych w Europie są prefabrykaty betonowe.

Analizując poszczególne rodzaje budownictwa, można zauważyć znaczące różnice regionalne w stopniu i zakresie wykorzystania prefabrykacji z betonu. Przykładowo, największe zastosowanie prefabrykacji w Skandynawii ma miejsce w budownictwie mieszkaniowym wielorodzinnym lub biurowym i wynosi około 80 % obiektów tego typu. Tak szeroka skala wykorzystania prefabrykatów wynika z ich specyficznych zalet, które wiążą się głównie z brakiem sezonowości prowadzonych z wykorzystaniem prefabrykatów prac

budowlanych, znacząco szybszą pracą na placu budowy, a przez to skróceniem czasu wykonania obiektów oraz wysoką trwałością prefabrykatów.

W Polsce w ostatnim okresie zauważa się ponowne zwiększenie zainteresowania stosowaniem prefabrykatów z betonu, jednakże tendencja stosowania prefabrykatów jest odwrotna – największy udział prefabrykacji betonowej obserwowany jest w budownictwie przemysłowym i przy wznoszeniu obiektów handlowych, magazynowych i innych użyteczności publicznej (np. stadionów). Duży udział w rynku prefabrykatów w Polsce, podobnie jak w krajach Europy Zachodniej (np. Holandii, Belgii, Niemczech), zajmują także wyroby drobnowymiarowe, w tym tzw. galanteria, elementy drogowe oraz infrastruktury i uzbrojenia terenu. Specyfiką współczesnej polskiej prefabrykacji jest natomiast mały udział wyrobów prefabrykowanych w budownictwie mieszkaniowym. Warto zaznaczyć, iż na podstawie analizy rynku budowlanego w Polsce i jego tendencji wielokrotnie w ostatnich latach podkreślaną kwestią jest zbliżający się ponowny wzrost znaczenia technologii prefabrykowanej w budownictwie mieszkaniowym wielorodzinnym i budownictwie obiektów użyteczności publicznej. Takie przewidywania wskazywane są przede wszystkim z uwagi na:

- szybkość wznoszenia obiektów z prefabrykatów (dominacja montażu nad robotami „mokrymi” na budowie),
- możliwości optymalizacji jakości i zapotrzebowania materiałowego i energochłonności wytwarzania w warunkach powtarzalnej, certyfikowanej produkcji fabrycznej wobec znacznie bardziej podlegających wpływom losowym itp. technologii monolitycznych,
- znaczne uniezależnienie prowadzenia robót od warunków pogodowych,
- wyeliminowanie najślabszych stron „starej” prefabrykacji – nowoczesne, trwałe złącza, elastyczne systemy uwzględniające wysokie wymagania estetyczne,
- kształtowanie indywidualne bryły budynku o zróżnicowanym charakterze i programie funkcjonalnym.

Dodatkowo warto zauważyć pozytywne wzorce z Zachodu i Skandynawii, które wskazują na atrakcyjność techniczną i ekonomiczną prefabrykacji, co również przekłada się na wzrost inwestycji w tym sektorze na rynku polskim.

Obserwacja aktualnych trendów dotyczących m.in. zwiększenia efektywności energetycznej i ograniczenia emisji gazów cieplarnianych oraz kierunków zmian w prawie (Dyrektywa Parlamentu Europejskiego i Rady 2010/31/UE z dnia 19 maja 2010 r. w sprawie charakterystyki energetycznej budynków - Dz.U.UE L z 18 czerwca 2010 r. , wdro-



żona do polskiego prawa Rozporządzeniem Ministra Transportu, Budownictwa i Gospodarki Morskiej zmieniającym Rozporządzenie w sprawie warunków technicznych, jakim powinny odpowiadać budynki i ich usytuowanie (Dz.U. z 2013 r., poz. 926.) sugerują, że w najbliższym czasie należy spodziewać się wzrostu zapotrzebowania na materiały budowlane charakteryzujące się najwyższym poziomem energooszczędności przy zapewnieniu bezpieczeństwa konstrukcji, odpowiedniej charakterystyki i funkcjonalności materiałów z uwzględnieniem niskich kosztów wytworzenia. Nowoczesne technologie i systemy prefabrykacji stanowią jedno z efektywnych i efektywnych rozwiązań kwestii redukcji energochłonności budownictwa. Dużym plusem prefabrykacji w tej dziedzinie jest także uproszczenie procesu wznoszenia obiektu i montażu instalacji, przyspieszenie realizacji inwestycji i ograniczenie kosztów przy zapewnieniu szczególnie wysokiej jakości budowanych obiektów. Powyższe przesłanki pozwalają wnioskować o dalszym szybkim rozwoju technologii prefabrykacji na polskim rynku budowlanym.

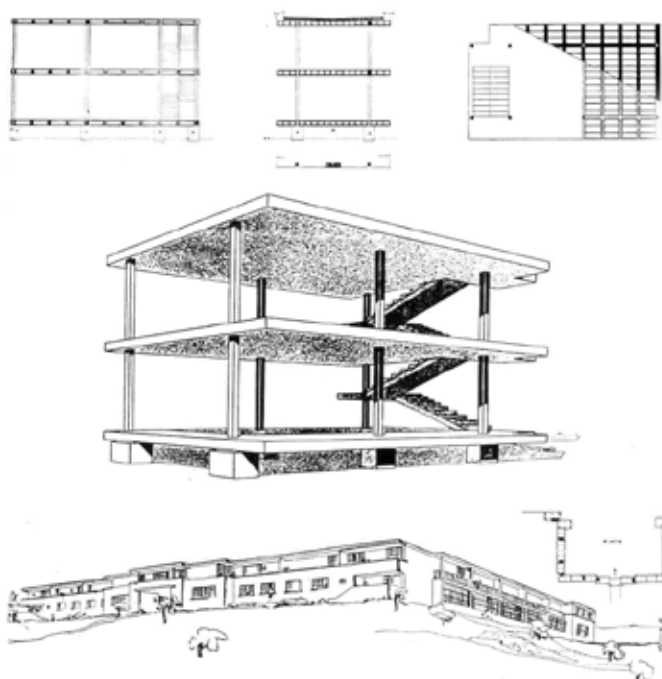
Jednym z przewidywanych kierunków rozwoju prefabrykacji będzie zwiększenie udziału materiałów pochodzących z recyklingu (kruszywa do betonu, dodatki do cementu) w tym, w szczególności niewykorzystywanych dotychczas powszechnie w budownictwie spoiw polimerowych pochodzenia mineralnego, tzw. geopolimerów. W połączeniu z tradycyjnymi zaletami prefabrykacji taka innowacyjność materiałowa ma szansę uczynić z prefabrykacji technologię doskonale wpisaną w strategię zrównoważonego rozwoju w kontekście zarówno ograniczenia energochłonności produkcji, jak i zmniejszenia jej śladu węglowego. Stanie się to w najbliższych latach

szczególnie istotne wobec stopniowo zaostrzanych kryteriów oceny wyrobów budowlanych w kontekście ich oddziaływań na środowisko w trakcie całego cyklu życia wyrobu (*cradle to grave approach*).

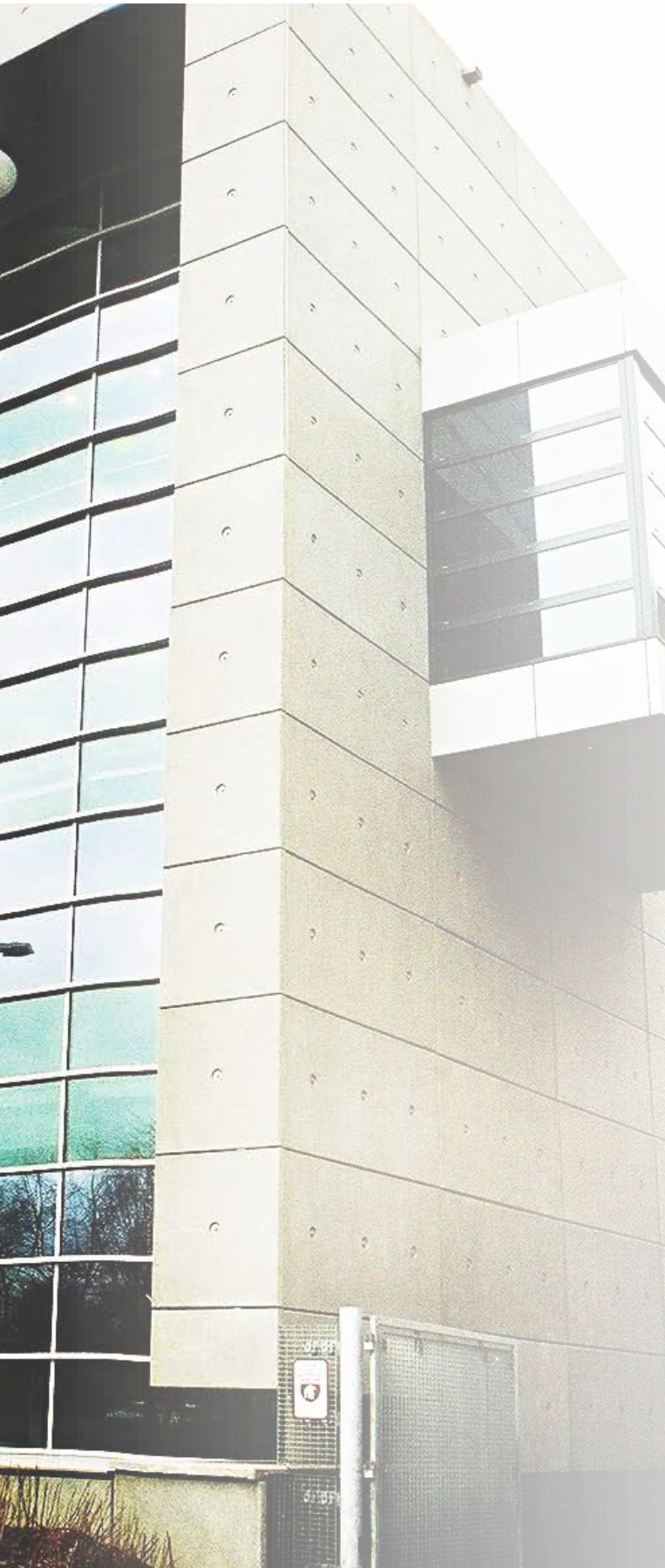
### 1.1 Rys historyczny

Idea prefabrykacji betonowej w budownictwie sięga czasów rzymskich. Wprawdzie współczesne pojęcie „beton” ma inne znaczenia niż rzymskie *opus caementicium*, ale – w świetle najnowszych badań inżynierii materiałowej i archeologii – są to pojęcia zaskakująco bliskie. Starożytni Rzymianie tworzyli z kamiennego kruszywa, gipsu, wapna, wody oraz wezuwiałskich popiołów wulkanicznych – materiał przypominający w sensie technicznym dzisiejszy beton. Wykorzystywali go głównie w konstrukcjach, które dziś nazwalibyśmy monolitycznymi, ale produkowali także w formach elementy o znacznych gabarytach – prefabrykaty do budowy infrastruktury, tj. części akweduktów, przepustów, tuneli. Znane są także przykłady wykonywania elementów prefabrykowanych konstrukcyjno-architektonicznych (np. części świątyni wytworzone w Rzymie, a przeznaczone do jej budowy w Afryce – wzmianki w listach Pliniusza Młodszego).

Koncepcja prefabrykowanych elementów z betonu odżyła wraz z wynalezieniem współczesnego betonu z cementu portlandzkiego w pierwszym ćwierćwieczu XIX wieku. Za początki współczesnej prefabrykacji można uznać początki żelbetu – w tym osławione siatkobetonowe donice pana Monier, naczelnego ogrodnika miasta Paryża, który opatentował te pierwsze współczesne prefabrykaty w 1867 roku. Za ojca wielkiej prefabrykacji betonowej można z pewnością uznać Le Corbusiera z jego wizjonerską koncepcją budynku Domino z 1914 roku (rys. 1).



Rys. 1.  
Koncepcja budynku  
z prefabrykatów  
Domino – Le Corbusier  
1914



Budynki według tego projektu nie powstały, ale stał się on inspiracją dla kolejnych pokoleń projektantów. Na terenach Polski prefabrykacja na skalę przemysłową zaistniała w roku 1897 - otwarcie zakładu w Białych Błotach istniejącego do dziś. Początek XX wieku i okres międzywojenny to rozwój prefabrykacji w zakresie infrastruktury drogowej i technicznej. W roku 1939 na terenie Polski istniało blisko 200 wytwórni betonowych.

Powojenny dynamiczny rozwój systemów prefabrykacji, zwłaszcza mieszkaniowej, związany był ze zwiększonym zapotrzebowaniem na dużą liczbę tanich mieszkań w krótkim czasie, co wynikało ze zniszczeń wojennych Europy. Na tej fali prefabrykacja mieszkaniowa pojawiła się również w powojennej Polsce. Pierwszy wielokondygnacyjny budynek mieszkalny w Polsce powstał w Warszawie w 1955 roku i zapoczątkował karierę tzw. wielkiej płyty. Właśnie ten rodzaj prefabrykacji sprawił, że określenie prefabrykacja betonowa na terenach Polski nabrało zabarwienia pejoratywnego. Wynika to ze skojarzenia z budownictwem wielkopłytowym z lat 1970-1985, realizowanym przez prawie 200 fabryk domów i wytwórni prefabrykatów, pośpiesznie z priorytetem ilości kosztem jakości. Miało to różne podłoże, począwszy od braku dobrej jakości materiałów budowlanych, poprzez nieprzywiązywanie wagi do jakości, aż po brak motywacji do produkcji bezusterkowej. Ten negatywny obraz prefabrykacji był jednym z powodów załamania się produkcji w okresie przemian ustrojowych w Polsce. Od lat 90. ubiegłego wieku obserwuje się powolny wzrost stosowania prefabrykacji betonowej jako rezultat otwarcia Polski i napływu kapitału zagranicznego, stwarzającego możliwość modernizacji wytwórni. Wymiana myśli technicznej i doświadczeń z krajów, w których prefabrykacja jest rozwinięta na szeroką skalę (Skandynawia, Benelux, Niemcy) spowodowała ponowne zainteresowanie niekwestionowanymi korzyściami, jakie niesie za sobą prefabrykacja, a współczesne budynki mieszkalne realizowane w technologii prefabrykowanej nie są już obciążone tzw. *syndromem 3D – dirty, dangerous, difficult*. Uogólnienie to jest zresztą krzywdzące również dla prefabrykacji wielkopłytowej z lat ubiegłych. Budynki mieszkalne projektowane wtedy przy założonej trwałości poniżej 50 lat zachowują wymagane obecnie użyteczność i bezpieczeństwo, a rzetelna ocena ich stanu technicznego wskazuje na sytuację znacznie lepszą, niż wynika to z obiegowych opinii.

Niedawny boom inwestycyjny w obszarze infrastruktury drogowej i publicznej spowodował orientację rynku producenckiego na te gałęzie budownictwa, w których prefabrykaty są niezastąpione. Szeroka gama wyrobów przeznaczonych dla tej sfery budownictwa będzie przedstawiona w kolejnych tematycznych zeszytach z serii.

Można spodziewać się, że prefabrykacja w służbie budownictwa infrastrukturalnego przetrzała także drogę do wzrostu popularności zastosowań prefabrykacji w innych obszarach

budownictwa, w tym mieszkaniowego, zwłaszcza, że potencjał techniczny polskich zakładów prefabrykacji jest na takie wyzwanie przygotowany. Tematyka ta znajdzie swoje miejsce także w kolejnych zeszytach serii.

### 1.2. Koncepcja ogólna prefabrykacji

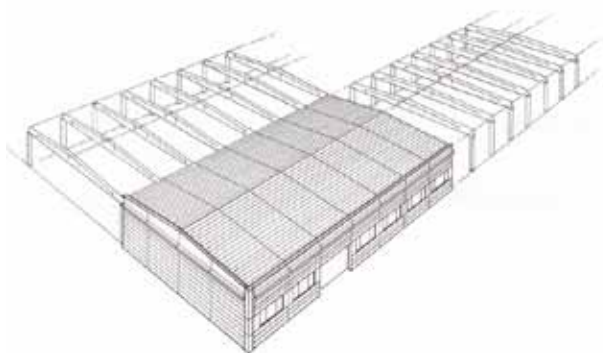
Wyraz „prefabrykacja” jest dwuczłonowy. Pierwszy człon „pre”, odnosi się do czegoś bardzo odległego w czasie lub do początkowej fazy, bądź wcześniejszego występowania czegoś. Człon drugi „fabrykacja”, oznacza produkcję w skali przemysłowej. Połączenie znaczenia tych wyrazów w kontekście budownictwa oznacza proces wcześniejszego wytwarzania elementów konstrukcyjnych, które połączone w procesie montażu tworzą obiekt budowlany. Przy dużej różnorodności

wymienione wyroby mogą składać się na kompatybilny system, umożliwiając wzniesienie konstrukcji kompletnego budynku (rys. 2., 3., 4.).

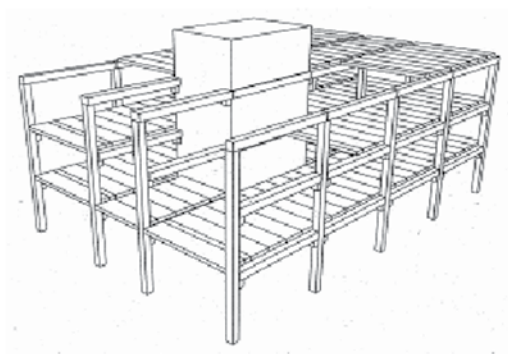
Pojęcie prefabrykacja określa technikę projektowania i wykonywania budowli charakteryzującą się następującymi cechami:

- podział budowli na części i elementy funkcjonalne – specjalizowane,
- podział i specjalizacja wykonawstwa obejmujące produkcję, transport i montaż elementów,
- specjalizacja zastosowania materiałów i mechanizacja robót w produkcji, transporcie i montażu,
- ograniczenie robót na budowie do montażu i łączenia części i elementów specjalizowanych.

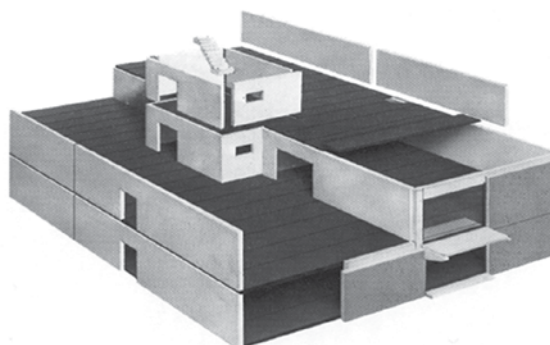
Rys. 2.  
Konstrukcja portalowa



Rys. 3.  
Konstrukcja szkieletowa



Rys. 4.  
Konstrukcja płytowa





## ZAGADNIENIA OGÓLNE

### 2.1 Charakterystyczne cechy budownictwa z prefabrykatów

Budownictwo z prefabrykatów zasadniczo różni się od prac budowlanych wykonywanych na tradycyjnym placu budowy. Jedną z najbardziej widocznych różnic jest **istotnie krótszy czas realizacji**. Związane jest to z wykonywaniem elementów na liniach produkcyjnych, w halach przemysłowych z wykorzystaniem uniwersalnych stanowisk produkcyjnych, na których wytwarzane są wszystkie elementy konstrukcyjne w stałej temperaturze otoczenia, co uniezależnia w znacznym stopniu realizację inwestycji od czynników pogodowych. Elementy prefabrykowane uzyskują w procesie produkcyjnym docelowe cechy techniczne (np. wytrzymałościowe), co redukuje przerwy technologiczne we wznoszeniu obiektu, związane np. z dojrzewaniem betonu elementów konstrukcyjnych. Montaż elementów przez wyspecjalizowane ekipy oraz stosowanie rozwiązań projektowych przyspieszających roboty montażowe, dodatkowo skraca czas budowy. Poniżej przedstawiono porównania obrazujące oszczędność czasową wynikającą z zastosowania konstrukcji prefabrykowanej zamiast monolitycznej (przy założeniu pracy jednej ekipy montażowej):

1. Strop prefabrykowany o powierzchni 2400m<sup>2</sup> montowany w pięć dni roboczych to dwa razy szybciej niż ułożenie samego deskowania pod strop monolityczny,
2. Średnie tempo montażu ścian prefabrykowanych wynosi około 180m<sup>2</sup> dziennie, w przypadku wykonania ich jako monolityczne zadanie to zajmuje minimum cztery dni (otwarcie deskowania, zbrojenie, zamknięcie deskowania, betonowanie, wiązanie, rozdeskowanie),
3. 12 sztuk słupów prefabrykowanych montowanych w ciągu 1 dnia, osiem sztuk monolitycznych powstaje w ciągu 2 dni,
4. Montaż belek prefabrykowanych w liczbie 20 sztuk dziennie – praca przy monolitycznych trwa łącznie ok. 35 dni.

Kolejną widoczną na pierwszy rzut oka różnicą jest **ograniczenie do minimum wielkości placu budowy**. Wynika to z faktu, że w przypadku realizacji inwestycji w technologii prefabrykowanej gotowe do wbudowania elementy prefabrykowane docierają na budowę ściśle wg zaplanowanych harmonogramów. Ograniczenie powierzchni placu budowy jest szczególnie znaczące w przypadku lokalizacji miejskich, gdzie plac budowy zazwyczaj jest ograniczony sąsiednimi budynkami.

Następną szczególną cechą budownictwa prefabrykowanego jest modularyzacja konstrukcji i w pewnym zakresie jej typizacja. Przez typizację należy rozumieć ujednoczenie i uproszczenie formy konstrukcji, polegające na tworzeniu obiektów przemysłowych (hale produkcyjne, magazynowe, handlowe), inżynierskich (belki mostowe, przepusty), rzadziej budynków mieszkalnych. Stosowanie powtarzalnych elementów budowlanych stwarza możliwości przemysłowego

wego ich wytwarzania, a co za tym idzie, pozwala obniżyć koszty inwestycji poprzez obniżenie kosztów produkcji. Modularyzacja konstrukcji charakteryzuje się znacznym stopniem autonomiczności poszczególnych jej części pod względem możliwości zamontowania lub zdemontowania prefabrykatów bez naruszania pozostałych elementów.

Wskazane powyżej modularyzacja i typizacja nie ograniczają jednakże **dowolności kształtowania przestrzeni**, co jest cechą charakterystyczną elastycznych systemów nowoczesnej prefabrykacji. W zakładach prefabrykacji możliwa jest realizacja elementów o w zasadzie dowolnych geometrii i kształcie. Wykorzystanie technologii sprężania oraz materiałów o wysokich parametrach wytrzymałościowych umożliwia projektowanie i wykonywanie elementów o dużych rozpiętościach (np. belek strunobetonowych o rozpiętości dochodzącej do 42 m), co z kolei przekłada się na dużą, nieograniczoną słupami powierzchnię, którą można zagospodarować w dowolny sposób.

W zakresie konstrukcji prefabrykowanych przemysł budowlany zwraca szczególną uwagę na zgodność wyrobów z normami oraz systemami zapewnienia jakości. Kontrola przebiegu produkcji na etapie przygotowania, wykonywania i odbioru elementów minimalizuje możliwość pomyłki i przekłada się na **wysoką jakość wyrobów**. Stosowanie materiałów wysokiej jakości w połączeniu z reżimem technologicznym nadają produktom podwyższone cechy eksploatacyjne. Uzyskany w ten sposób dodatkowy **zapas bezpieczeństwa i trwałości** zazwyczaj znacznie przewyższa poziomy wymagane przepisami i normami projektowania.

Dzięki zastosowaniu nowoczesnych technik projektowania i produkcji elementów większość budynków może być konstruowana przy użyciu prefabrykatów. Budynki na planie ortogonalnym są idealne do wznoszenia w systemach prefabrykacji, ponieważ charakteryzują się dużą regularnością i powtarzalnością w siatce konstrukcyjnej tych samych elementów, etc. W przypadku budynków o nietypowej geometrii i konstrukcji zastosowanie prefabrykatów jest również możliwe dzięki elastyczności współczesnych systemów prefabrykacji pozwalających na wytwarzanie elementów o nietypowych, często bardzo skomplikowanych kształtach. Wymienione korzyści i zalety prefabrykacji kojarzą się przede wszystkim z prefabrykacją betonową. Wynika to z faktu, że wykonywanie konstrukcji stalowych i drewnianych rzadko kiedy określane jest tym terminem.

Przy wyborze konstrukcji budynku inwestor wspólnie z projektantem powinni przeanalizować wszystkie **ekonomiczne argumenty** wynikające z wyboru typu konstrukcji i materiałów, jakie zostaną użyte, biorąc pod uwagę takie czynniki jak np.: koszty konserwacji budynku, koszty zdarzeń pożarowych, zabezpieczeń ppoż., koszt ogrzewania

budynku czy konieczności odśnieżania dachu, zabezpieczenie ze względu na klasę środowiska agresywnego etc. Przy zastosowaniu elementów prefabrykowanych, w tym szczególnie sprężanych, uzyskuje się mniejszą kubaturę obiektu, która przynosi oszczędności w zakresie ogrzewania, w stosunku do analogicznych rozwiązań konkurencyjnych. Odpowiednio dobrane elementy prefabrykowane połączone z systemami odzysku ciepła dzięki akumulacji pozwalają uzyskiwać oszczędności sięgające 15–30% rocznych kosztów ogrzewania, co stanowi niebagatelną oszczędność. Konstrukcje żelbetowe prefabrykowane stanowią w warunkach pożarowych znakomitą ochronę życia, zdrowia i mienia użytkowników i mają wpisaną w „standardzie” ognioodporność sięgającą godzinnej odporności ogniowej R60. Przy niewielkim wzroście kosztów konstrukcji, rzędu 5–10% (w zależności od typu konstrukcji), możliwe jest uzyskanie odporności R120 (dwugodzinnej), co w przypadku konkurencyjnych rozwiązań opartych o konstrukcje stalowe dla klasy R60 wynosi około 20%, a dla klasy R120 około 60% wartości konstrukcji (wartości te mogą być zdecydowanie wyższe w zależności od typu konstrukcji i sposobu zabezpieczenia). Warto podkreślić, że także w przypadku rocznych kosztów ubezpieczeń budynków o konstrukcji żelbetowej na wypadek pożaru koszty te są znacząco niższe od rozwiązań opartych na konstrukcjach stalowych czy drewnianych. Wartość rocznej składki może być trzykrotnie wyższa i sięgać 1% wartości budynku, nie mówiąc o składkach ubezpieczeniowych za wyposażenie obiektu.

Warto też zaznaczyć, że w przeciwieństwie do stropów monolitycznych, stropy prefabrykowane można użytkować od razu po montażu, a ich montaż jest szybki, najczęściej wykonywany na sucho lub tylko z niewielką warstwą nadbetonu, który korzystnie wpływa na cechy użytkowe stropu. W obecnych czasach, kiedy w przetargach głównym kryterium jest koszt, nikt nie pomyśli nawet o innym typie stropu, dlatego mali inwestorzy wybierają takie sprawdzone rozwiązanie.

Kolejną kwestią wartą podkreślenia jest bezpieczeństwo konstrukcji poddanej przeciążeniu wynikającemu ze zdarzeń pogodowych (obfite opady śniegu lub deszczu), losowych lub po prostu z błędów użytkownika. Przy konstrukcjach stalowych nawet prawidłowo zaprojektowany dach poddany maksymalnym obciążeniom śniegiem może nie ochronić przed katastrofą spowodowaną przeciążeniem i stanowi najbardziej prawdopodobne obciążenie, które może wywołać katastrofę budowlaną. W przypadku dachów opartych o dźwigary żelbetowe lub płyty sprężone, przy uwzględnieniu globalnego współczynnika bezpieczeństwa wynikającego w norm europejskich, wartość obciążeń przeciążających konstrukcję mogących doprowadzić do katastrofy może być nawet o 60% większa. Ważne

i warte podkreślenia jest także to, że niewiele podnosząc koszt konstrukcji dachu (około 5% wartości konstrukcji żelbetowej) i projektując ją na zwiększone wartości obciążeń śniegiem, można pozbyć się problemów związanych z koniecznością odśnieżania dachów, które mogą stanowić znaczny koszt w przypadku dużych powierzchni dachowych. Tak więc warto zwrócić uwagę na wszelkie pozycje kosztowe związane nie tylko z budową obiektu, czy zdarzeniami jednorazowymi, lecz także uwzględnić koszty eksploatacji określonego budynku w ciągu kilkudziesięciu lat i na tej podstawie podjąć decyzję o wyborze rozwiązania konstrukcji.

Szczególnym aspektem prefabrykacji betonowej są zagadnienia **ekologiczno-ekonomiczne**. Żelbet jako materiał konstrukcyjny jest wyrobem przeciętnie energochłonnym, z uwagi na niski udział składników wymagających w procesie produkcyjnym znacznych nakładów energii (stal około 6%, cement około 15%). Konstrukcje stalowe lub ceramiczne charakteryzują się większą energochłonnością materiału użytego do budowy układu nośnego obiektu. Wobec wymogów nowoczesnego budownictwa, w zakresie standardów BREEAM i LEED, często decydującym aspektem przy wyborze konstrukcji staje się, wykorzystanie konstrukcji w aspekcie ograniczenia emisji CO<sub>2</sub> oraz wykorzystania jej do kumulacji energii cieplnej. Zastosowania mają tu układy wentylacyjne połączone z systemami wbudowanymi w konstrukcję prefabrykowaną, które powodują wykorzystanie masy cieplnej do ogrzewania i chłodzenia budynków w zależności od potrzeb.

Warto podkreślić, że aspekty ekonomiczne zdecydowały o tym, iż Polska ma najwięcej w Europie wybudowanych budynków w certyfikacji BREEAM i LEED. Inwestorzy decydujący się na zielone budownictwo powinni zwrócić szczególną uwagę na tego rodzaju korzyści, płynące z wykorzystania elementów prefabrykowanych.

## 2.2. Podejście do projektowania

Inwestorzy i projektanci obiektów, dokonując wyboru technologii prefabrykacji, kierują się m.in. wysoką jakością elementów, krótkim cyklem inwestycji, produkcją niezależną od warunków atmosferycznych, wysoką ognioodpornością, sprawniejszą organizacją placu budowy, możliwością demontażu.

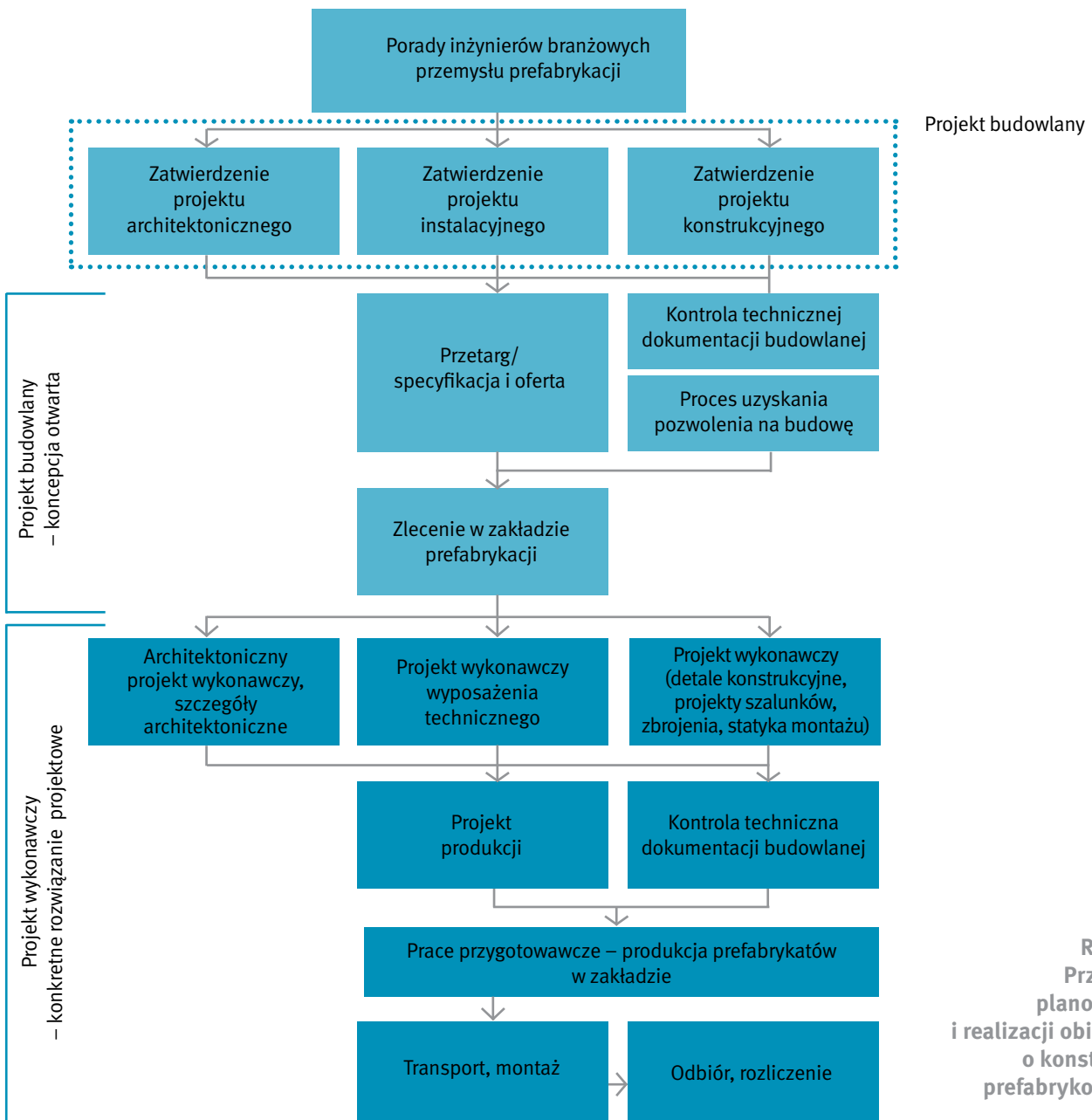
Do wykonania prostych projektów, architekt może sam opracować wstępny projekt na podstawie asortymentu i wytycznych zawartych w katalogach producenckich. W bardziej złożonych projektach konsultowanie projektu z projektantem systemu prefabrykacji jest niezbędne (rys. 5.). Konsultant powinien być członkiem zespołu projektowego ze względu na wyższą efektywność pracy, mi-

nimalizację ryzyka i popętnienia błędów w późniejszych etapach realizacji inwestycji. Istotne jest, by w końcowym etapie projektu wykonawczego, nastąpiła ścisła współpraca z producentem prefabrykatów w celu uniknięcia ewentualnych problemów produkcyjnych oraz montażowych. Sam projekt jest to twórcza działalność związana z powstaniem produktu, powodująca jego zróżnicowanie wynikające z cech i parametrów użytkowych, czyli zgodność ze standardami, trwałości, niezawodności, łatwości ewentualnych napraw i stylu. Projekt zawiera rysunki, obliczenia, opisy, a także kosztorysy.

Projektant obiektu na etapie opracowania koncepcji zakłada pewną powtarzalność poszczególnych jego części. Powtarzalny rozstaw osi głównych budynku

oraz poszczególnych jego składowych – modułów (belek, słupów, płyt stropowych) umożliwia zastosowanie w budynku elementów typowych, o ujednoliconym lub zbliżonym kształcie. Zastosowanie podobnych elementów ogranicza koszty związane z projektowaniem i realizacją, przyspiesza cały proces produkcji i montażu oraz pozwala na uniknięcie błędów podrażających każdą inwestycję.

Przed opracowaniem projektu wykonawczego prowadzone są uzgodnienia w zakresie projektów branżowych instalacji i wyposażenia. Takie przygotowanie pozwala na zaprojektowanie prefabrykatów w sposób umożliwiający osiągnięcie maksimum korzyści z prefabrykacji.



Rys. 5. Przebieg planowania i realizacji obiektów o konstrukcji prefabrykowanej

W projekcie wykonawczym uwzględniane są również warunki dostawy i montażu prefabrykatów, kolejność, tempo realizacji i stany statyczne konstrukcji. Obiekty z prefabrykatów, podobnie jak obiekty wznoszone w dowolnej innej technologii, zgodnie z prawem budowlanym muszą spełniać wymagania podstawowe, stawiane obiektom budowlanym według przepisów krajowych i europejskich (w tym Rozporządzenia Parlamentu Europejskiego i Rady (UE) nr 305/2011 z 9 marca 2011 r. ustanawiającego zharmonizowane warunki wprowadzania do obrotu wyrobów budowlanych), zarówno w zakresie nośności, bezpieczeństwa jak i energooszczędności oraz zasad zrównoważonego rozwoju.

### 2.3. Bezpieczeństwo pożarowe

Jednym z podstawowych wymagań, jakie stawia się obiektom budowlanym, jest kryterium bezpieczeństwa pożarowego. Działania przeciwpożarowe w zakresie budownictwa obejmują m.in. podział budynku na strefy pożarowe, zastosowanie niepalnych materiałów budowlanych oraz zastosowanie materiałów budowlanych o wysokiej klasie odporności ogniowej. Wymogi wynikające z ochrony przeciwpożarowej budynków, formułowane są m.in. z wykorzystaniem takich uwarunkowań jak: rodzaj budynku, liczba jednostek mieszkaniowych, liczba pięter, wysokość budynku oraz wymiary zewnętrzne. Pod pojęciem ochrony przeciwpożarowej kryją się działania związane zarówno z projektowaniem i budową obiektu, jak i z jego funkcjonowaniem. Betonowe obiekty mogą spełniać najostrejsze wymagania w zakresie ochrony przeciwpożarowej pod warunkiem, że zostanie to uwzględnione na etapie projektowania prefabrykatów i całego obiektu

Ważnym aspektem działań przeciwpożarowych są klasy odporności ogniowej obiektów. Przede wszystkim, dlatego że dzięki nim udaje się minimalizować ryzyko utraty zdrowia i życia ludzi. W przypadku zastosowania wyższej klasy odporności ogniowej niż wymagana przepisami, inwestor zyskuje większe prawdopodobieństwo ochrony mienia należącego do mieszkańców budynku dotkniętego pożarem. Ochrona mienia jest istotna przede wszystkim dla użytkowników obiektów, dlatego to rozwiązanie okazuje się rozsądne, gdy chodzi o kwestie ekonomiczne.

Kolejnym znaczącym zagadnieniem ochrony przeciwpożarowej jest schemat statyczny konstrukcji. Prefabrykacja jest tu korzystna ze względu na ograniczenie przeniesienia oddziaływań pożarowych na sąsiednie elementy konstrukcji. Konstrukcja nośna żelbetowa stosowana jest w szczególności przy wymaganych wysokich kla-

sach odporności ogniowej układu nośnego, tj. minimum R 120. Prefabrykowane elementy, które są właściwie zaprojektowane i wykonane, mogą osiągnąć ognioodporność do REI 240.

Prefabrykaty z betonu nie wymagają stosowania specjalnych powłokowych środków, mających na celu zabezpieczenie konstrukcji przed pożarem. Badania laboratoryjne potwierdzają stosunkowo dużą odporność betonu na działanie ognia, w porównaniu do innych materiałów konstrukcyjnych. Usuwanie skutków pożaru w obiekcie zbudowanym z elementów prefabrykowanych, wiąże się często jedynie z drobnymi naprawami. Zapewnienie ochrony pożarowej w konstrukcjach żelbetonowych jedynie nieznacznie zwiększa koszty realizacji obiektu. Przy użyciu innych rozwiązań materiałowych konstrukcji (stal, drewno) ochrona pożarowa stanowi znaczącą pozycję w całkowitych kosztach realizacji obiektu.

### 2.4. Wymagania z zakresu fizyki budowli

Podstawowe wymagania z zakresu fizyki budowli to izolacyjność termiczna i akustyczna przegród. Kryteria te, w wysokim stopniu, zależne są od rozwiązań materiałowo-konstrukcyjnych budynku. Inne zagadnienia fizyki budowli, jak np. kwestia wentylacji w obiekcie, są w mniejszym stopniu związane z jego konstrukcją. Typowy beton konstrukcyjny nie zapewnia wystarczającej ochrony cieplnej. Niezależnie od tego, czy przyjmuje postać prefabrykatu, czy monolitu, wymusza to konieczność stosowania docieplenia niekonstrukcyjnymi materiałami izolacyjnymi. Istotne uproszczenie techniki docieplania i obniżenie pracochłonności jest możliwe dzięki zastosowaniu prefabrykowanych ścian warstwowych. W prefabrykowanych ścianach warstwowych odpowiednia warstwa izolacji termicznej, zapewnia wymaganą ochronę cieplną. Ściany warstwowe mogą być produkowane, jako nośne – konstrukcyjne, samonośne przenoszące ciężar własny, lub zawieszane na szkieletowej konstrukcji nośnej. Stosowane obecnie rozwiązania ścian warstwowych, różnią się znacząco od ścian znanych z systemów wielkiej płyty pod względem trwałości i niezawodności przyjętych rozwiązań.

Aktualne wymagania ustawodawstwa w zakresie charakterystyki energetycznej budynków (świadczenia energetyczne) wymuszają spełnienie przez przegrody w obiektach budowlanych coraz bardziej surowych norm w odniesieniu do izolacyjności termicznej. Systemy prefabrykacji, nadążając za tymi wymaganiami, oferują rozwiązania łączące zarówno odpowiedni współczynnik  $\lambda$  prefabrykatu ściennego, jak i właściwe ukształtowanie złączy w systemowy sposób, który eliminuje mostki termiczne. Dodatkowo

przypadkowe powstanie mostków termicznych jest ograniczone do minimum, z powodu braku możliwości montażu prefabrykatów w inny sposób niż systemowy, który jest przewidziany w projekcie technicznym.

Zagadnienia fizyki budowli związane z izolacyjnością akustyczną wskazują na pewną przewagę prefabrykacji nad technologią monolityczną. Prefabrykowa-

ne konstrukcje żelbetowe łączone są przegubowo, z zastosowaniem podkładek elastomerowych, które ograniczają przenoszenie dźwięków. Również prefabrykowane elementy klatek schodowych ułożone na podkładkach tłumiących drgania zapobiegają przeniesieniu dźwięków na konstrukcję budynku, co daje większy komfort akustyczny w stosunku do konstrukcji monolitycznych.

## POTENCJAŁ TECHNICZNY PREFABRYKACJI

Prefabrykowane elementy z betonu znajdują zastosowanie w wielu gałęziach budownictwa. Obecnie elementy prefabrykowane są powszechnie stosowane w budownictwie publicznym, infrastrukturalnym oraz przemysłowym (rys. 6.). Zastosowanie technologii prefabrykacji pozwala na zwiększenie efektywności wykonywania elementów powtarzalnych w konstrukcji, m.in. dzięki uniezależnieniu w znacznym stopniu prac betoniarских od warunków atmosferycznych. Ponadto dostarczenie gotowych elementów pozwala na wyeliminowanie koniecz-

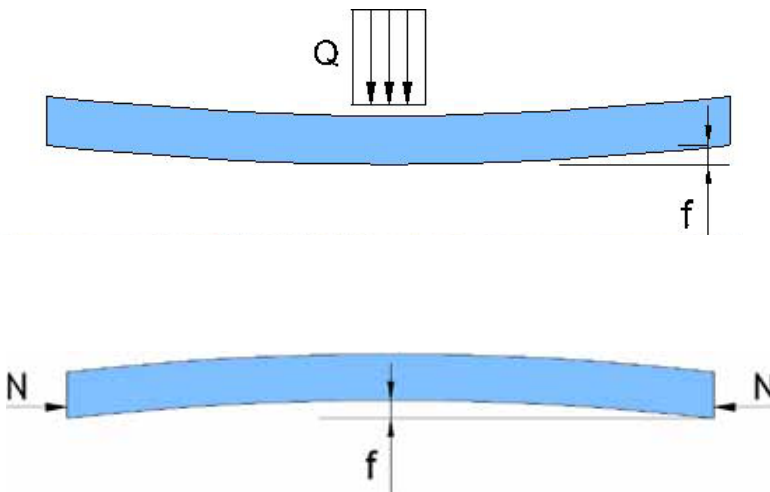
ności wykonywania deskowań oraz zbrojenia elementów w warunkach budowy czy konieczności oczekiwania na uzyskanie przez młody beton wymaganej wytrzymałości. Nie bez znaczenia jest również wyższa jakość wykonywanych elementów ze względu na stosowanie zakładowej kontroli produkcji w wytwórni prefabrykatów. Z uwagi na wykorzystywany przy produkcji materiał oraz sposób produkcji i montażu prefabrykaty mogą być wykonywane jako betonowe, żelbetowe, sprężone lub zespolone (żelbetowe lub sprężone, rys. 7.).



Rys. 6.  
Realizacja  
obiektów  
w technologii  
prefabrykowanej

Prefabrykaty żelbetowe wykonywane są z betonu zbrojonego wiotkimi prętami stalowymi (tzw. zbrojenie pasywne) w taki sposób, że sztywność i nośność konstrukcji uwarunkowana jest współpracą betonu i stali. Pod wpływem działających obciążeń element żelbetowy zbrojony prętami może się ugiąć ku dołowi, w granicach wartości strzałki ugięcia dopuszczalnej przez normę.

Prefabrykaty sprężone, strunobetonowe to elementy, w których naciąg cięgien następuje przed zabetonowaniem elementu, a zwolnienie naciągu i przekazanie sprężenia na beton dzięki przyczepności stali sprężającej do betonu ma miejsce po uzyskaniu przez mieszankę betonową odpowiedniej wytrzymałości. Struny (ciągną) pełnią rolę zbrojenia aktywnego. W typowym schemacie obliczeniowym belki i dźwigary prefabrykowane obciążane są od góry, w wyniku czego największe siły rozciągające pojawią się w elemencie w dolnej części jego przekroju. W celu zrównoważenia obciążeń i wynikłych z tego powodu ugięć ku dołowi element strunobetonowy jest sprężany (ściskany) przede wszystkim w dolnej części przekroju – mimośrodowo. Pojawiające się wygięcie do góry w środku rozpiętości prefabrykatu jest zamierzonym efektem wynikającym ze sprężenia.



Rys. 7.  
Schemat elementu  
żelbetowego  
(a) oraz sprężonego  
(b) z zaznaczeniem  
strzałek ugięcia

Prefabrykaty zespolone to elementy powstałe w wyniku zapewnienia współpracy w przekroju poprzecznym jednego lub kilku wcześniej wykonanych elementów żelbetowych lub sprężonych z betonem uzupełniającym wykonanym później na prefabrykacie lub pół-prefabrykacie, po jego zamontowaniu. Bardzo często element prefabrykowany jest w tym wypadku wykorzystywany jako tzw. szalunek tracony (np. stropy filigranowe). Elementy takie pełnią nośność obliczeniową uzyskując po związaniu betonu uzupełniającego z prefabrykatem. Współpracę pomiędzy prefabrykatem a nadbetonem zapewnia odpowiednie zbrojenie oraz powierzchnia styku – uszorstniona, zgrzeszkowana lub zadyblowana.

### 3.1. Przygotowanie produkcji

Prawidłowa organizacja produkcji prefabrykatów wymaga posiadania z odpowiednim wyprzedzeniem dokumentacji wykonawczej elementów, przygotowania rysunków warsztatowych, złożenia zamówień materiałowych i opracowania harmonogramu produkcji, uwzględniającego terminy montażu i możliwości produkcyjne zakładu. W przypadku osadzania w prefabrykach nietypowych akcesoriów wymagających dodatkowej obróbki niezbędne jest uwzględnienie zapasu czasu na wykonanie takich elementów.

Przygotowanie prac związanych z wykonywaniem elementów prefabrykowanych uwzględnia wszystkie procesy produkcyjne w zakładzie oraz magazynowanie tymczasowe gotowych części składowych elementów z uwzględnieniem ich transportu i montażu.

Procesy produkcyjne w zakładach prefabrykacji można podzielić na procesy przygotowawcze, pomocnicze oraz procesy produkcji głównej.

Procesy pomocnicze prowadzą do wytworzenia półfabrykatów z przygotowanych wcześniej materiałów. Bardzo często zdarza się tak, że procesy przygotowawcze i pomocnicze prowadzone są jednocześnie w odpowiednio przygotowanych działach produkcji, jak np.: zbrojarnia, węzeł betoniarski itp. Procesy produkcji głównej, poprzedzone procesami przygotowawczymi i pomocniczymi, prowadzą do wykonania gotowego prefabrykatu.

### 3.2. Procesy produkcyjne Materiały

Podstawowymi materiałami do wykonania prefabrykatu są beton cementowy, stal zbrojeniowa zwykła lub sprężająca. W elementach warstwowych dodatkowym materiałem jest termoizolacja (zwykle styropian lub wełna mineralna). Niezbędne są także wkładki dystansowe

stabilizujące zbrojenie oraz środki antyadhezyjne zapobiegające przywieraniu betonu do powierzchni formy w procesie produkcji.

### Beton

Wytwórnice prefabrykatów korzystają z własnych wytwórni mieszanki betonowej zlokalizowanych bezpośrednio przy hali produkcji głównej i posiadają własne zaplecza laboratoryjne, prowadzące zarówno projektowanie betonów, jak i kontrolę jakości produkcji. Dzięki stałej kontroli uzyskuje się betony o znacznie lepszych i wyższych parametrach niż beton konstrukcji monolitycznych. Istnieje możliwość uzyskania betonów o bardzo dużej wytrzymałości, np. przy realizacji budowy Auchan Bronowice w Krakowie zastosowano w prefabrykacie beton klasy C90/105.

W produkcji prefabrykatów możliwe jest wykorzystanie szczególnie szerokiego zakresu odmian betonów specjalnych. Wynika to ze stałych warunków produkcji, krótkiego wymaganego czasu utrzymania właściwości roboczych mieszanki betonowej oraz dogodnych warunków betonowania. W szczególności można wykorzystać beton:

- **samożagęszczalny** – samożagęszczalność mieszanki betonowej polega na zagęszczeniu pod wpływem siły grawitacji dzięki silnemu upłynnieniu mieszanki, co powoduje prawie całkowite jej odpowietrzenie, zdolność do łatwego wypełniania wszystkich przestrzeni oraz szczelne otulenie zbrojenia bez konieczności wibrowania, pod warunkiem zapewnienia odporności na segregację. Wylimitowanie konieczności mechanicznego zagęszczania umożliwia betonowanie konstrukcji o znacznym stopniu zbrojenia oraz o nietypowych kształtach. Uzyskana powierzchnia jest gładka, wolna od pęcherzów powietrza i „raków”. Beton samożagęszczalny ze względu na łatwość uzyskania gładkiej i estetycznej powierzchni jest także wykorzystywany jako beton architektoniczny.

- **architektoniczny** – powierzchnia o bardzo wysokiej jakości spełniająca nawet najbardziej wymagające standardy estetyczne (rys. 8.). Zakłady prefabrykacji dzięki swoim możliwościom technologicznym, wysokiemu reżimowi produkcji, kontroli jakości gwarantują wykonanie spektakularnego produktu finalnego. Technologia prefabrykacji daje także możliwość uzyskania różnorodnych faktur dzięki zastosowaniu elastycznych tworzyw sztucznych lub drewnianych matryc, płukania (usunięcia wierzchniej warstwy betonu/zaczynu poprzez sputkanie i dekoracyjne odstąpienie kruszywa) czy też obróbki mechanicznej jak np. szlifowanie lub piaskowanie. Beton barwiony w masie

uzyskiwany jest przez dodanie nieorganicznych dodatków barwiących do mieszanki betonowej.

- **ze zbrojeniem rozproszonym** – zbrojony włóknami syntetycznymi lub stalowymi. W prefabrykacji stosowany najczęściej w elementach cienkościennych oraz w elementach eksploatowanych w środowisku agresywnym.



Rys. 8.  
Element ścienny  
z powierzchnią  
architektoniczną







### Stal zbrojeniowa

W prefabrykacjach z betonu stosowana jest stal zbrojeniowa (rys. 9.) zwykła lub sprężająca.

Zachowanie się konstrukcji żelbetonowych zależy w dużej mierze od parametrów stali zbrojeniowej. Zwiększenie bezpieczeństwa konstrukcji uzyskuje się przez zastosowanie stali o dużej wytrzymałości na rozciąganie. Do elementów żelbetonowych stosowana jest stal atestowana o najwyższych parametrach wytrzymałościowych.

Do elementów sprężonych stosowane są ponadto ciężne i druty ze stali sprężającej. Proste druty są rzadko wykorzystywane w sprężaniu konstrukcji, przeważającą część jest skręcana w sploty o wytrzymałości na rozciąganie 1860 MPa.

### Wkładki dystansowe

Wkładki dystansowe (rys. 10.) mają na celu uzyskanie w elemencie prefabrykowanym odpowiedniej grubości otuliny, przez odsunięcie prętów zbrojeniowych od powierzchni formy. Inną funkcją wkładek jest zapewnienie niezmienności rozstawu prętów zbrojeniowych. Wkładki dystansowe wykonywane są z polietylenu, polipropylenu lub betonu. Materiał wkładek powinien być obojętny dla betonu i zawartych w nim dodatków. Wkładki dystansowe w ogólności powinny:

- umożliwiać odpowiednie obciążenie dopuszczalne i stabilność – w zależności od działających obciążeń i warunków pogodowych, zwłaszcza temperatury;
- umożliwiać pewne montowanie na zbrojeniu;
- mieć możliwie niewielki stopień odprężania, aby po rozszalowaniu nie doszło do odpryskiwania znajdującej się blisko powierzchni warstwy betonu;
- mieć taki kształt, aby beton mógł otoczyć je ze wszystkich stron i wskutek zainstalowania dystansu nie doszło do rozwarstwiania się betonu z dystansem;
- być odporne na korozję i alkaliczne środowisko betonu;
- nie powodować korozji zbrojenia.
- wkładki dystansowe nie powinny obniżać odporności ogniowej elementu;



Rys. 9.  
Stal zbrojeniowa

### Środki antyadhezyjne

Podobnie jak w przypadku deskowań konstrukcji monolitycznej w formach do wytwarzania prefabrykatów stosowane są środki antyadhezyjne zapobiegające przywieraniu betonu do powierzchni formy i umożliwiające rozformowanie elementu bez uszkodzeń jego powierzchni. Stosowane są środki chemiczne aktywne lub bierne (niewchodzące w reakcję ze składnikami betonu), na bazie olejów mineralnych, roślinnych i rozpuszczalników. Stosowane są środki w postaci emulsji i dyspersji wodnych. Dobór środka uzależniony jest od materiału poszycia formy, rodzaju betonu, warunków wytwarzania oraz oczekiwań co do estetyki wyrobu.

### Przygotowanie zbrojenia

W zależności od sposobu wytwarzania oraz kształtu zbrojenie można podzielić na zbrojenie prętowe, zgrzewane szkielety płaskie lub przestrzenne, siatki zgrzewane, przestrzenne lub płaskie zbrojenie wiązane. Zbrojenie wytwarzane jest w przyzakładowej zbrojarni, lub wyspecjalizowanej wytwórni półfabrykatów zbrojeniowych. Zbrojenie wykonywane jest przez prostowanie, cięcie i gięcie prętów stalowych zgodnie z dokumentacją projektową. Z reguły na etapie przygotowania wykonuje się



Rys. 10.  
Wkładki dystansowe

płaskie i przestarżone złożone elementy zbrojeniowe. Połączenie prętów zbrojeniowych może być realizowane przez spawanie, zgrzewanie i wiązanie.

W zakładach prefabrykacji stosowana jest automatyzacja procesu wytwarzania zbrojenia: automatyczne wczytywanie rysunków CAD, giętarki do strzemion i produkcji giętych prętów z kręgu, prościarki, elektronicznie sterowane maszyny do produkcji strzemion i gięcia prętów zbrojeniowych, linie przetwarzania pręta zbrojeniowego do produkcji prostych przyciętych prętów, strzemion i wygiętych prętów, urządzenia do produkcji elektrycznie zgrzewanych belek filigran, urządzenia do produkcji elektrycznie zgrzewanych siatek, maszyny do montażu elektrycznie zgrzewanych klatek i elementów przestrzennych (rys. 11).



**Rys. 11.**  
Przygotowanie  
zbrojenia przed  
zaformowaniem





### Przygotowanie mieszanki betonowej

Mieszanka betonowa wytwarzana jest w przykładowym węźle betoniarskim (rys. 12.). Wytwórnice prefabrykatów są obecnie wyposażone w nowoczesne, sterowane komputerowo systemy dozowania i mieszania składników, umożliwiające precyzyjne naważanie oraz kontrolę konsystencji mieszanki w trakcie wytwarzania. W wielu węzłach stosowane są elektroniczne mierniki wilgotności dozowanego kruszywa, co umożliwia uzyskiwanie mieszanki o wysokim stopniu powtarzalności parametrów. Instalacja podgrzewania kruszywa umożliwia wykonywanie mieszanki betonowej w warunkach zimowych.



Rys. 12.  
Betoniarka  
współbieżna

### Przygotowanie form

W technologii prefabrykacji formy mają znaczenie szczególne. Nadają kształt elementom, decydują o estetyce, technologii i precyzji wykonania elementów (rys. 13.). W prefabrykacji formą określa się „zinventoryzowaną, powtarzalną konstrukcję, stanowiącą część składową stanowiska produkcyjnego elementów prefabrykowanych, służącą do nadania układanej mieszance betonowej odpowiednich kształtów”. W zależności od stopnia skomplikowania formy, koszt kompletu form może sięgać od 40% do nawet 80% wartości wyposażenia linii produkcyjnej lub około 70% w odniesieniu do kosztów produkcji elementu, dlatego tak ważna jest powtarzalność elementów. Wobec powyższego forma powinna być w taki sposób zaprojektowana, aby maksymalnie upraszczać tech-

Rys. 13.  
Forma do wykonania  
płyty TT oraz  
elementu przestrzennego

nologię produkcji podczas formowania, składania i rozkładania, jak również powinna się cechować znaczną trwałością. Konstrukcja formy w głównej mierze zależy od liczby elementów, które mają być w niej wykonane, kształtu oraz wielkości danego elementu, jak i założonej technologii produkcji. Możliwe jest stosowanie metalu, drewna, a nawet żelbetu do wykonania konstrukcji formy. Dla typowych prefabrykatów przygotowane są formy, które w przewidzianym zakresie pozwalają na modyfikowanie formy, w celu uzyskania różnych wysokości, szerokości i długości elementów, co stanowi o elastyczności systemu.

Dla większych serii powtarzalnych elementów używane są formy stalowe ze względu na łatwość zachowania wymiarów i trwałość. Przy krótszych seriach (do 30 szt.) wykorzystuje się formy z pokryciem z sklejki laminowanej na ruszcie stalowym. W przypadku kiedy planowane jest wykonanie elementów nietypowych, które nie wywodzą się z oferowanego programu produkcji, wykonywane są formy specjalne ze stali, drewna. W kształtowaniu elementów często wykorzystuje się żywice i gumy.



### 3.3. Linia produkcyjna

Produkcja elementów prefabrykowanych najczęściej odbywa się w wytwórniach stałych (rys. 14.), rzadziej w poligonowych wytwórniach okresowych. Możliwe jest także wykonywanie takich elementów w przyobiektowej wytwórni na budowie.

Elementy betonowe prefabrykowane są zazwyczaj metodą stacjonarną lub stacjonarno-potokową. Wpływ na wybór metody produkcji prefabrykatów ma wiele czynników, w szczególności istotną rolę odgrywają gabaryty formowanego elementu oraz rodzaj rozwiązania konstrukcyjnego i materiałowego. Elementy o znacznej masie i wymiarach produkowane są metodą stacjonarną, natomiast mniejsze elementy produkowane są zwykle metodą potokowo-stacjonarną.

Metoda stacjonarna polega na formowaniu wyrobu bez zmiany jego położenia w czasie produkcji. Oznacza to, że wszystkie czynności technologiczne odbywają się w miejscu, w którym element został zaformowany.

Metoda stacjonarno-potokowa polega na tym, że proces roboczy posiada charakter potokowy, natomiast inne procesy technologiczne, np. obróbka cieplna, mają charakter stacjonarny.



Rys. 14 .  
Linie produkcyjne  
w zakładzie  
prefabrykacji



Nieco inaczej przebiegają roboty zbrojarskie w przypadku elementów sprężonych. Zbrojenie sprężające wykonuje się przez naciągnięcie mechaniczne lub elektrotermiczne splotu. Przy zastosowaniu urządzeń mechanicznych stosuje się naciągi hydrauliczne, dźwigniki lub obciążniki wciągarki z dynamometrem. W elementach strunobetonowych (rys. 15.) naciąg dokonywany jest w oparciu o zewnętrzne elementy oporowe. Podczas betonowania i twardnienia betonu ciągną mają już przyłożoną siłę sprężającą i są za pomocą zakotwień technologicznych zamocowane w konstrukcjach oporowych. Właściwe sprężenie betonu następuje dopiero w chwili zwolnienia zakotwień w elementach oporowych, czyli w momencie przekazania sił na beton. W prefabrykacie strunobetonowych stosowany jest praktycznie zawsze prostoliniowy przebieg ciągnięć. Podstawowe metody produkcji elementów strunobetonowych to metoda torów naciągowych i metoda sztywnych form.

**Rys. 15.**  
**Produkcja elementów**  
**strunobetonowych**



Proces formowania prefabrykatu obejmuje transport, dozowanie i układanie mieszanki (tzw. rozdział mieszanki betonowej), zagęszczanie i wykańczanie powierzchni. Sposób transportu mieszanki betonowej w wytwórniach zależy od odległości i wysokości, z jakiej będzie zrzucany beton, oraz od jego właściwości reologicznych i technologicznych, czyli: odporności na segregację, konsystencji, maksymalnego wymiaru ziaren. Do transportu mieszanki betonowej (rys. 16.) przy średnim zapotrzebowaniu można użyć urządzeń prostych takich jak pojemniki, wózki. Natomiast kiedy występuje duże zapotrzebowanie w przypadku stacjonarnych metod produkcji, wymagania co do wydajności urządzeń transportowych wzrastają. Nieprawidłowy transport mieszanki (drgania) może spo-

wodować jej segregację. Zjawiska te można wyeliminować przez właściwy dobór urządzeń oraz odpowiednie zaprojektowanie mieszanki betonowej. Najbardziej popularnym sposobem transportu jest transport szynowy, który przebiega w górnych częściach hali, co pozwala na automatyzację i niekolizyjną pracę. Sterowanie wózkami odbywa się z poziomu sterowania węzłem betoniarskim, który otrzymuje informacje o lokalizacji zapotrzebowania. Z wózków mieszanka betonowa trafia do koszy, które są transportowane przez suwnice lub bezpośrednio do kosza zasypowego nad formą.

Oprócz szczególnych wymagań technicznych z zakresu dozowania i układania mieszanki w trakcie formowania musi być spełniony także warunek zachowania jednorodności mieszanki, tak aby nie nastąpiło rozsegregowanie składników.



Kolejną czynnością technologiczną jest zagęszczanie mieszanki betonowej. Istotą zagęszczania mieszanek betonowych jest zapewnienie jednorodności materiału przez usunięcie powietrza wprowadzonego podczas mieszania i transportu mieszanki betonowej. Efekt zagęszczania to spadek porowatości mieszanki oraz wzrost gęstości.

Sposoby oraz metody zagęszczania świeżego betonu różnią się pomiędzy sobą przede wszystkim sposobem przyłożenia obciążenia zagęszczającego, mechanizmami pokonywania tarcia wewnętrznego, spójności i lepkości, jak też sposobem pozbycia się nadmiaru powietrza. W przypadku niektórych metod korzystnym skutkiem ubocznym zagęszczania jest obniżenie stosunku wodno-cementowego w mieszance betonowej przez usunięcie części wody zarobowej.

W zakładach prefabrykacji najbardziej powszechnym sposobem zagęszczania mieszanki betonowej, z uwagi na rodzaj stosowanych form oraz warunki produkcji, jest wibrowanie wewnętrzne, zewnętrzne lub objętościowe.

Przy zastosowaniu urządzeń drgających pograżonych w mieszance betonowej do wibrowania stosuje się urządzenia przenośne. Wibratory pograżalne wytwarzające drgania, zagłębiane są w mieszance betonowej, powodując jej lokalne zagęszczenie, o zasięgu zależnym od amplitudy i częstotliwości drgań buławy. Drgania nie są przenoszone na formę, co wpływa na efektywność wykorzystania energii, a ponadto nie powoduje dodatkowego zużycia formy. Wibrowanie zewnętrzne polega na przekazywaniu drgań w sposób pośredni na mieszankę betonową. Drgania przekazywane są bezpośrednio na formę, a forma z kolei przekazuje drganie mieszance betonowej, która ma bezpośredni kontakt w formę. Źródłem drgań są urządzenia nazywane wibratorami przyczepnymi i są one najczęściej zamocowane do następujących elementów: podkładu formy, boków lub szczytów formy, przegród form kasetowych, obejm, które montuje się od góry form.

Podstawowym czynnikiem warunkującym odpowiednie zagęszczenie jest rozmieszczenie wibratorów przyczepnych, uwzględniające masę, której nadaje się drgania, czyli masę drgającej części formy i zagęsz-

Rys. 16.  
Transport mieszanki  
betonowej

czanego betonu. Najefektywniejszą pracę wibratorów przyczepnych można uzyskać poprzez zastosowanie kilku takich urządzeń jednocześnie oraz ich synchronizację. Brak synchronizacji może doprowadzić do nakładania się drgań, co powoduje pogorszenie efektywności zagęszczania. Najczęściej wykorzystywane wibratory przyczepne działają na zasadzie siły odśrodkowej i mają napęd elektryczny.

Wibrowanie objętościowe na stołach wibracyjnych jest powszechnie stosowane w produkcji wyrobów o małej i średniej masie. Zaletą tej metody jest zagęszczenie całej objętości wyrobu w jednym krótkim cyklu wibrowania, a wadą – konieczność wprawienia w drgania całej formy z mieszanką betonową, co czyni proces mniej efektywnym energetycznie oraz wymusza stosowanie droższych (bardziej odpornych i masywnych) form. Popularność tego rozwiązania wynika z krótkiego czasu operacji zagęszczania i możliwości wykorzystania w potokowej organizacji produkcji.

Ostatnią operacją w procesie formowania jest wykończenie powierzchni elementu. Powierzchnia górna, która nie ma styku z formą, wymaga wygładzenia, a ten proces można wykonać przez: walcowanie powierzchni elementu, wibrowanie powierzchniowe elementu, zacieranie górnej powierzchni wyrobu. Gładką powierzchnię można uzyskać także przez zastosowanie cementowej warstwy wykańczającej, która zawiera drobne kruszywo, często z dodatkami wodoszczelnymi, lub zastosowanie innych powłok ochronnych, zależnie od przeznaczenia wyrobu. Uformowany element z reguły dojrzewa w formie do czasu uzyskania wytrzymałości rozformowania. Wyjątkiem są linie produkcji elementów z mieszanek betonowych o suchej konsystencji, zagęszczanych głównie z udziałem prasowania, kiedy rozformowanie następuje natychmiast po zagęszczeniu.

Zwiększenie wydajności produkcji uzyskuje się zazwyczaj dzięki zastosowaniu cementów o szybkim rozwoju wytrzymałości lub modyfikacji mieszanki betonowej domieszkami chemicznymi przyspieszającymi twardnienie betonu. Technologia ta pozwala na uzyskanie odpowiednio wysokiej wczesnej wytrzymałości umożliwiającej rozformowanie i podniesienie elementu lub zwolnienie naciągu strun (w przypadku prefabrykatów sprężanych). Wykorzystuje się powszechnie efekt samoistnego wydzielania ciepła przez dojrzewający beton, związany z egzotermiczną reakcją hydratacji cementu. Zgrupowanie form z dojrzewającymi elementami w ograniczonej przestrzeni (np. spiętrzenie) pozwala w wyniku samoociepnięcia betonu podnieść lokalnie temperaturę otoczenia, co przyspiesza dojrzewanie prefabrykatów.

Niezależnie od warunków dojrzewania powierzchnia niezafornowana elementu wymaga pielęgnacji wilgotnościowej. Elementy po rozformowaniu powinny dojrzewać w warunkach podwyższonej wilgotności i dodatniej temperatury.

Ewentualne defekty wyrobów o niewielkim znaczeniu technicznym mogą być usunięte przez powierzchniową kosmetykę betonu, z wykorzystaniem standardowych materiałów naprawczych.

### Warunki produkcji

Zestawienie warunków produkcji w zakładzie prefabrykacji z warunkami panującymi podczas wykonywania konstrukcji w technologii monolitycznej wskazuje na istotne różnice między nimi. Podstawową różnicą są warunki atmosferyczne, które w wytwórni prefabrykatów są stałe (lub łatwe do uwzględnienia w produkcji letniej lub zimowej), co pozwala na zachowanie optymalnych warunków pielęgnacji i dojrzewania elementów. Użytkują one dzięki temu projektowane cechy użytkowe bez ryzyk związanych z negatywnym oddziaływaniem obniżonej temperatury, nadmiernego parowania itp. Gotowe elementy dostarczane są na miejsce wbudowania, gdzie następuje montaż, który jest możliwy do przeprowadzenia w znacznie szerszym zakresie warunków atmosferycznych niż prowadzenie robót monolitycznych. Stanowi to o znacznym uniezależnieniu prowadzenia robót budowlanych w technologii prefabrykowanej od warunków pogodowych.

Niezwykle istotnym aspektem technologii prefabrykowanej jest wysoka jakość wykonywanych wyrobów. Związane jest to z faktem szczegółowej kontroli składników do produkcji prefabrykatów, precyzji sterowanych komputerowo systemów dozowania w przykładowych wytwórniach mieszanki betonowej (eliminacja przypadkowych dostawców) oraz bieżącą kontrolą w przykładowych laboratoriach (ZKP). Prace w zakładzie prefabrykacji i zwykle montaż elementów na budowie prowadzone są przez wykwalifikowaną i wyspecjalizowaną kadrę techniczną. Przekłada się to na wysoką, niezmienną w czasie, jakość wyrobów w zakresie materiałowym oraz precyzję wykonania.

Warto podkreślić, że proces projektowania prefabrykatów i obiektów z prefabrykatów odbywa się zazwyczaj przy ścisłej współpracy między zakładem prefabrykacji a biurem projektowym, które często jest jedną z jednostek organizacyjnych zakładu prefabrykacji. Umożliwia to zindywidualizowane podejście do projektowania, z uwzględnieniem potrzeb inwestora oraz doświadczeń wykonawcy i projektanta.



### 3.4. Transport prefabrykatów

W większości przypadków prefabrykaty wozi się transportem drogowym (rys. 17., 18.), rzadko transportowane są koleją lub transportem wodnym.

Maksymalnie dozwolone gabaryty oraz masa całkowita przy transporcie drogowym określają przepisy drogowe. Przepisy te wpływają na projektowanie gabarytów prefabrykatów, gdyż prefabrykaty mieszczące się w gabarytach transportowych można przewozić transportem ogólnego przeznaczenia, bez konieczności uzyskiwania specjalnych zezwoleń. Do transportu prefabrykatów, obok pojazdów ogólnego przeznaczenia wykorzystuje się pojazdy specjalne, przeznaczone wyłącznie do określonego rodzaju ładunku, jak dłużyce (rozciągi) do poziomego transportu słupów, belek i płyt stropowych o długości przekraczającej długość typowej skrzyni ładunkowej, czy „wanny” umożliwiające transport pionowy ścian o wysokości do 4 m, bez przekroczenia skrajni transportowej.



Rys. 17.  
Transport prefabrykatów wielkowymiarowych



Transport elementów o znacznych wymiarach, wykraczających poza standardowe wymiary transportowe, organizowany jest przez wyspecjalizowane firmy, umożliwia to dostawy elementów o gabarytach do 200 t oraz o długości 50 m.

Rys. 18.  
Ładunki ponadgabarytowe, dźwigar o długości 42,7 m



W każdym przypadku zastosowania kotew transportowych czy też systemu transportowego należy uwzględnić wytyczne montażu i zakresu stosowania opracowane przez producenta, zwłaszcza w zakresie wymaganych odstępów krawędziowych kotew i danych obciążeniowych.

Kotwy transportowe mogą być wykonane ze stali zwykłej, ocynkowanej lub nierdzewnej. Wielokrotne użycie w ramach standardowych czynności transportowych do momentu montażu prefabrykatu nie jest traktowane jako ponowne zastosowanie.

Podczas transportu elementów prefabrykowanych szczególne znaczenie mają rodzaj, liczba i rozmieszczenie kotew transportowych. Stosuje się je do podnoszenia i transportowania prefabrykatów. Należy uwzględnić masę i wymiary prefabrykatów oraz rodzaj podnośnika.

### 3.5. Montaż

W budowie obiektów prefabrykowanych, z uwagi na wysokie tempo realizacji, szczególną uwagę należy zwrócić na stateczność elementów i całej konstrukcji w każdej fazie montażu, począwszy od wyboru układu statycznego, zwłaszcza w etapowej realizacji konstrukcji. Należy ściśle określić niezbędny zakres i czas wykonania robót monolitycznych (zalewanie węzłów) koniecznych do usztywnienia budynku, w każdym etapie montażu, i uwzględnić czas osiągnięcia wymaganych wytrzymałości przez betony i zaprawy monolityczne. Zależności te należy uwzględnić w projekcie kolejności i tempa montażu oraz dostaw elementów. Uwzględniając harmonogram dostaw należy zaplanować produkcję, ze szczególnym uwzględnieniem elementów powtarzalnych produkowanych w dużych seriach.

Oparte o analizę stateczności konstrukcji w różnych fazach montażowych wytyczne muszą określać wszelkie uwarunkowania zapewniające stateczność konstrukcji w każdej fazie montażu, szczególnie kiedy sztywność konstrukcji jest realizowana za pomocą elementów monolitycznych (np. wieńce) lub stalowych (skratowanie połączeń ściennych i dachowych), i gwarantować bezpieczne połączenie prefabrykatów w odpowiedniej kolejności. Do montażu używa się żurawii samojezdnych lub wieżowych (rys. 19.).



Rys. 19.  
Montaż  
elementów

W wysokich obiektach wielokondygnacyjnych, zwłaszcza na małych działkach, do montażu może być użyty żuraw wieżowy, stacjonarny, lub torowy. Żurawie te zakotwione do konstrukcji wznoszonego obiektu mają możliwość podnoszenia przedmiotów na bardzo duże wysokości. Żurawie mają duży zasięg, który często pokrywa cały rzut obiektu. Mankamentem jest ograniczony udźwig. Już na etapie projektu budowlanego ograniczenie to wymaga dostosowania masy prefabrykatów do nośności żurawia, i przeanalizowania podziału konstrukcji na prefabrykaty. Miejsce montażu prefabrykatów musi być odpowiednio przygotowane do wprowadzenia pojazdów dźwigowych i transportowych. Do tego potrzebne są odpowiednio utwardzone powierzchnie dojazdów i ulic w obrębie budowy, które umożliwią przejazd oraz stateczne ustawienie żurawi. Należy również utwardzić powierzchnie składowania, w obrębie zasięgu żurawia, tak by podłoże wytrzymało punktowe obciążenie elementami.

Coraz większego znaczenia nabiera tzw. montaż z kół. Stosowany, jest w przypadku braku miejsca na składowanie na placu budowy, który często ograniczony jest innymi budynkami. Metodę tę charakteryzuje montaż bezpośrednio ze środka transportowego. Użytkowany jest tylko w uzasadnionych przypadkach, z uwagi na większe koszty przestoju środków transportowych i brak elastyczności w kolejności montażu.

Montaż prefabrykatów żelbetowych jest mało zależny od warunków pogodowych. Jeżeli montaż przypada w okresie zimowym, gdy przewidziany jest mróz, należy przedsięwziąć szczególne kroki do wykonania połączeń montażowych. Można to osiągnąć dzięki stalowym, konstrukcyjnym połączeniom lub poprzez ogrzewanie miejsc zalewowych przy dodatkowym zastosowaniu ochrony przed warunkami atmosferycznymi. Szczególną uwagę należy zwrócić na przepisy związane z zapobieganiem nieszczęśliwym wypadkom podczas montażu. Realizacja pozostałych prac budowlanych w obszarze zasięgu żurawia, w trakcie montażu prefabrykatów, jest niedopuszczalna. Kierownik budowy musi uzgodnić wykonanie wszystkich prac na budowie, tak by uniknąć zagrożeń oraz wzajemnych kolizji.

Do obowiązków kierownika budowy należy m.in. sporządzenie lub zapewnienie sporządzenia planu BIOZ (plan bezpieczeństwa i ochrony zdrowia) uwzględniającego specyfikę obiektu budowlanego i warunki prowadzenia robót budowlanych oraz koordynowanie działań zapewniających przestrzeganie podczas wykonywania robót budowlanych zasad bezpieczeństwa i ochrony zdrowia. Dodatkowo sporządza się także projekt organizacji budowy. Przed rozpoczęciem robót montażowych konieczne

jest sporządzenie planu organizacji montażu, który wykorzystuje się także przy ustalaniu kolejności produkcji i dostaw.

### 3.6. Połączenia elementów konstrukcyjnych

Rozwiązanie połączeń elementów prefabrykowanych jest kluczowym czynnikiem kształtującym przebieg i szybkość montażu obiektu. W miejscu połączenia elementów konieczne jest wykonanie złącza, które pełni funkcje: konstrukcyjną – zapewnienie przenoszenia sił w połączeniu, izolacyjną – termika, akustyka, drgania, oraz funkcję uszczelniającą – woda, wiatr. Złącze może składać się zatem z kilku części, obejmując płaszczyznę styku, spoinę, izolację i łączniki – częściowo wbudowane w prefabrykat na etapie jego produkcji. Możliwe jest także takie ukształtowanie złącza, że jeden uniwersalny kompaktowy element łącznikowy spełnia wszystkie wymienione funkcje. Dobrym przykładem ilustrującym taki przypadek jest łącznik balkonowy, który pozwala zamocować wspornikową płytę balkonową do stropu, jednocześnie zapewniając ochronę cieplną i szczelność w złączu.

Konstrukcje prefabrykowane pozwalają zrealizować praktycznie każdy schemat statyczny połączenia. Nawet skomplikowane statycznie obiekty mogą być realizowane z elementów prefabrykowanych. Możliwe do realizacji schematy połączeń:

- Swobodnie podparty (najczęściej stosowany ze względu na swoją prostotę i szybkość montażu, szczególnie zalecany w budynkach niskich i średnio wysokich),
- Półsztywne (pozwalające przenosić część momentów oraz biorących udział w usztywnieniu konstrukcji),
- Sztywne (przenoszą maksymalne momenty – możliwość wykreowania takich połączeń dzięki systemowym łącznikom lub monotypalizacji połączeń).

Prawidłowo ukształtowane połączenie – zaprojektowane na etapie produkcji i wykonane na etapie montażu – powinno spełniać następujące warunki:

- przenoszenie sił w złączu,
- uniemożliwienie przenikania wody i wiatru przez złącze,
- zapewnienie ochrony cieplnej takiej samej, jak w całej przegrodzie (eliminacja ewentualnych mostków termicznych),
- ograniczenie przenoszenia dźwięku i drgań,
- trwałość na poziomie wymaganego okresu użytkowania obiektu,
- prostota konstrukcji zapewniająca szybki i niezawodny montaż,
- posiadanie wymaganej odporności ogniowej,
- niski koszt i estetyczny wygląd.

Przy połączeniach warto wspomnieć o tolerancjach produkcyjnych i projektowych, które należy uwzględnić na etapie projektowania i montażu. Dzięki prefabrykacji konstruowane są detale połączeń z systemowych łączników pozwalające wykonać trwałe połączenia, regulować spasowanie elementów lub umożliwiające ich montaż nawet w warunkach dość dużych tolerancji produkcyjnych. Spasowanie konstrukcji stalowej lub drewnianej musi być zdecydowanie bardziej precyzyjne, co powoduje częste problemy na budowach, wynikające z konieczności dostosowywania złączy do tolerancji montażowych.

Istotne różnice rozwiązań złączy między prefabrykatami wynikają przede wszystkim z ich lokalizacji w konstrukcji (rys.20.-24.). Miejsca połączeń w zasadniczy

sposób determinują sposoby łączenia i w konsekwencji rodzaje stosowanych łączników, które mogą być zrealizowane jako: żelbetowe, betonowe, stalowe, zespolone lub klejone.

Wybór rozwiązania połączenia wynika z rodzaju łączonych elementów (np. słup – belka), schematu statycznego węzła (sztywny, przegubowy) oraz rodzaju łączonych konstrukcji (prefabrykat z konstrukcją stalową, żelbetową lub murową).

Połączenia pomiędzy prefabrykatami są także zróżnicowane pod względem rozwiązania technicznego, w zależności od rodzaju obiektu – co zostanie omówione w kolejnych zeszytach tematycznych.



Rys. 20.  
Wyasuwany łącznik  
np. do mocowania  
biegów schodowych

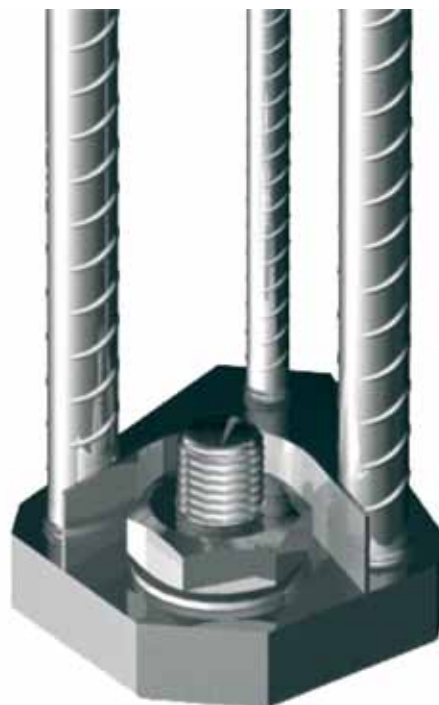


Rys. 21.  
Wspornik stalowy do  
punkowego podpierania  
płyt stropowych



Rys. 22.  
Ukryte połączenie  
elementów za pomocą  
wysuwanego wspor-  
nika „mieczowego”





Rys. 23.  
Połączenie słupa  
z fundamentem  
za pomocą kotew  
fundamentowych



Rys. 24.  
Łączniki  
pętlowe  
stosowane  
w ścianach

Docisk w miejscach bezpośredniego kontaktu dwóch elementów może, w przypadku nawet niewielkich nierówności powierzchni, skutkować znacznymi koncentracjami naprężeń i w efekcie lokalnymi uszkodzeniami elementów. Powstawaniu takich uszkodzeń można zapobiegać poprzez wykonanie warstwy podkładowej. Warstwa taka służy nie tylko równomiernemu rozkładowi naprężeń w złączu, lecz także tłumieniu drgań konstrukcji. Rozróżnia się warstwy podkładowe twarde (wylewka z zaprawy) i miękkie (podkładka elastomerowa, rys. 25.).

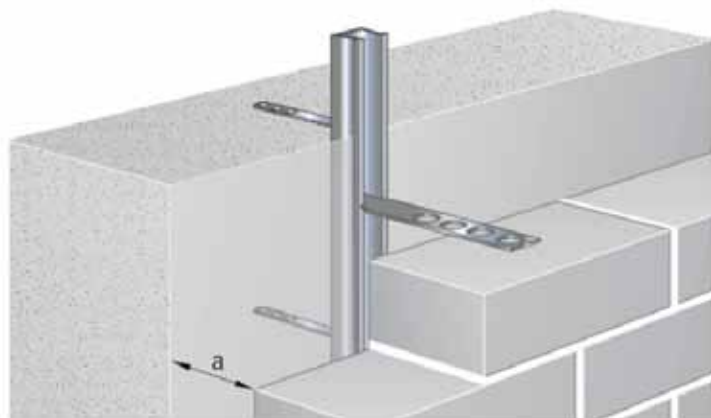
Warstwy podkładowe twarde stosowane są wyłącznie przy małych siłach docisku, jak np. przy niektórych płytach stropowych. Przy wyższych obciążeniach podpory, jak np. dźwigary dachowe lub płyty TT lub kanałowe oraz biegi schodowe, stosuje się z reguły podkładki elastomerowe. Należy unikać bezpośredniego opierania elementów – tzw. suchego podparcia.

Rys. 25.  
Podkładka  
elastomerowa  
pod elementem

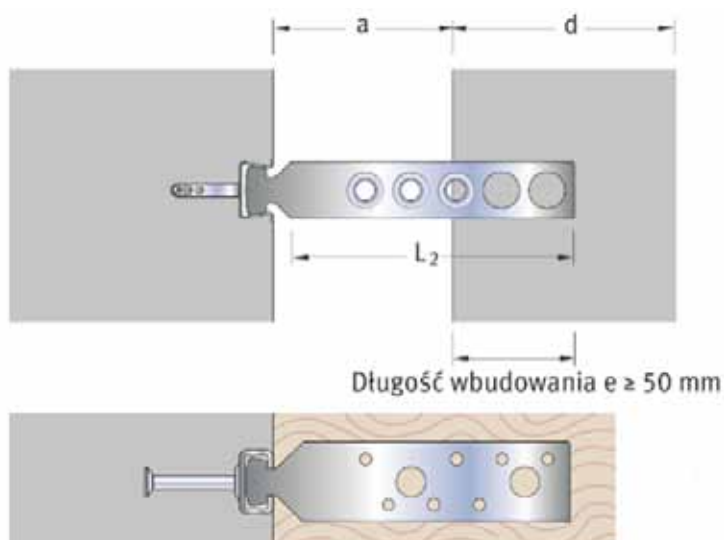


Połączenia prefabrykatów z innymi rodzajami konstrukcji są również możliwe za pomocą systemowych łączników wbudowywanych w elementy na etapie produkcji. Łączniki takie pozwalają ograniczyć prace montażowe do minimum.

Do połączenia prefabrykatów z konstrukcją murową lub drewnianą powszechnie stosowane są szyny kotwiące oraz kotwy (rys. 26.), które zapewniają trwałe i pewne połączenie. Szyny kotwiące do muru są wbetonowywane w elementy żelbetowe. Kotwy po wprowadzeniu do szyn kotwiących są mocowane w murze lub do elementów drewnianych. W murze kotwy mocowane są w zaprawie, pomiędzy warstwami w odstępach około 25 cm.

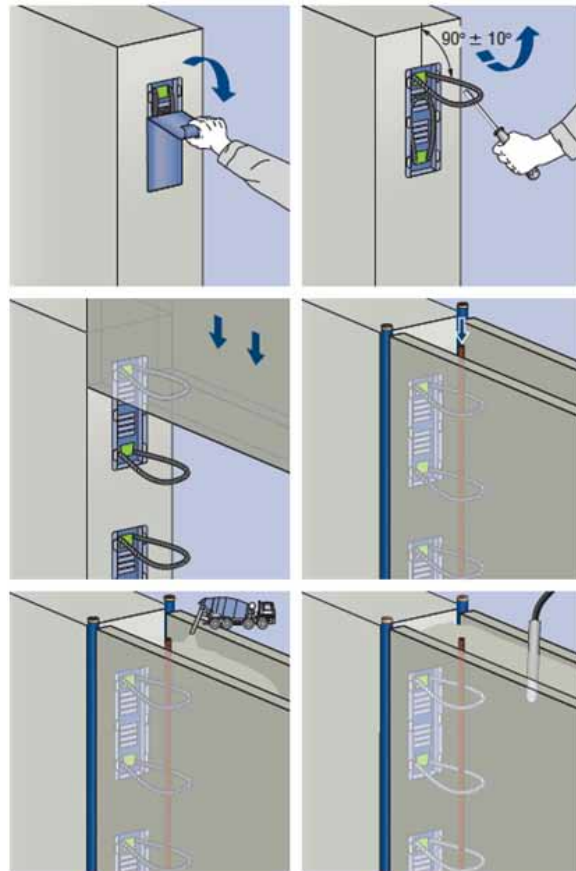


Rys. 26.  
Połączenie ściany  
murowanej i elementu  
prefabrykowanego za  
pomocą szyny i kotew



Połączenia z elementami żelbetowymi wykonywane są za pomocą łączników systemowych (rys. 27), również wprowadzanych do prefabrykatów na etapie produkcji. Najczęściej stosowane są połączenia za pomocą śrub łączących odpowiednio przewidziane kształtowniki stalowe lub połączenia monolityczne z wykorzystaniem łączników pętlowych.

**Rys. 27.**  
Połączenie z żelbetem – skręcane za pomocą szyn kotwiących i śrub lub monolityczne z wykorzystaniem łączników pętlowych



**Rys. 28.**  
Tory jezdne suwnicy zamocowane do konsol słupów za pomocą śrub młotkowych i szyn kotwiących



Połączenia z konstrukcją stalową wykonywane są podobnie jak połączenia skręcane prefabrykatów z żelbetem. Oznacza to, że elementy konstrukcji stalowej kotwione są do punktów montażowych w prefabrykacie za pomocą typowych łączników śrubowych (rys. 28.).

## ASORTYMENT WYROBÓW

### 4.1. Kryteria klasyfikacji wyrobów prefabrykowanych

Wyroby prefabrykowane można podzielić na wiele kategorii, w zależności od zastosowania w budownictwie, kształtu, stopnia wykończenia, rodzaju rozwiązania konstrukcyjnego lub materiałowego (tabl. 1.).

Jednym z najistotniejszych kryteriów klasyfikacyjnych jest rozmiar i masa elementów. Według tego kryterium potocznie wyróżnia się prefabrykaty drobnowymiarowe, średniowymiarowe i wielkowymiarowe. Nie jest jednoznaczne, jaka cecha mierzalna powinna być podstawą tego kryterium. W nazwie „wielkowymiarowe”

zawarte jest odniesienie do gabarytów elementu, ale w literaturze najczęściej podaje się kryterium masy (drobnowymiarowe – o masie do 200 kg, i wielkowymiarowe: o masie przekraczającej 3-5 ton). Jako istotną cechę prefabrykatów wielkowymiarowych podaje się też konieczność użycia do ich przemieszczania na terenie wytwórni suwnic i żurawi. Pod względem kształtu prefabrykaty można podzielić na elementy płaskie (w tym prętowe, szkieletowe, blokowe, płytowe) i elementy przestrzenne. Najbardziej praktyczna jest jednak klasyfikacja uwzględniająca zastosowanie elementów w różnych sektorach budownictwa.

Tabl. 1.

Przeznaczenie obiektu	Przykładowe elementy prefabrykowane w konstrukcji
<b>Budownictwo publiczne</b>	
Stadiony	słupy, belki podtrybunowe, płyty audytoryjne, pale, schody, podesty
Parkingi	wielootworowe sprężone płyty kanałowe, płyty TT, słupy, belki, płatwie, ściany żelbetowe, ściany warstwowe typu „sandwich”, ściany podwalinowe, stopy fundamentowe, kompletne systemy garażowe, schody, podesty
Kościóły	dźwigary i inne elementy konstrukcyjne według indywidualnych zamówień
<b>Budownictwo przemysłowe</b>	
Hale fabryczne i magazynowe	wielootworowe sprężone płyty kanałowe, płyty TT, belki, słupy, ściany warstwowe, ściany żelbetowe, rury, podwaliny, stopy kielichowe
Zbiorniki	kręgi, elementy przestrzenne, płyty
Kontenery wielofunkcyjne	elementy przestrzenne, płyty, ściany oporowe „L” i „T”
<b>Budownictwo infrastrukturalne</b>	
Drogi i mosty	przyczółki mostowe, belki typu „Kujan”, belki „T” i „KNG”, przepusty, wyspy i bariery drogowe, ekrany antyhałasowe, ściany oporowe
Tunele	żelbetowe płyty teowe, bloki łupinowe, tubingi płytowe i kasetonowe
Energetyka	żelbetowe i sprężone żerdzie oraz słupy
Sanitarne i kanalizacyjne	rury żelbetowe lub sprężone, studzienki kanalizacyjne, obudowy przepompowni ścieków
<b>Budownictwo mieszkaniowe</b>	
Budynki jednorodzinne	wielootworowe sprężone płyty kanałowe, stropy typu filigran, garaże
Budynki wielorodzinne	wielootworowe sprężone płyty kanałowe, ściany jednowarstwowe i wielowarstwowe typu „sandwich”, biegi schodowe, balkony, szyby dźwigowe, garaże





**Rys. 29.**  
Konstrukcja trybun  
z elementów  
prefabrykowanych



#### 4.2. Budownictwo publiczne

W ciągu ostatnich lat szczególnie spektakularnym przykładem stosowania w Polsce technologii prefabrykacji w budownictwie publicznym były stadiony sportowe budowane w związku z zaplanowanymi na 2012 rok Mistrzostwami Europy w Piłce Nożnej.

Wybudowanie takich konstrukcji inżynierskich jak stadiony sportowe (rys. 29.) jest dużym wyzwaniem, w szczególności ze względu na skalę samych konstrukcji. Ponadto istotnym aspektem procesu wznoszenia jest terminowe zakończenie prac budowlanych i oddanie obiektu do użytkowania. Z uwagi na powyższe uwarunkowania uzasadnione jest maksymalne uproszczenie konstrukcji oraz technologii wykonania.

Szczególnym rodzajem konstrukcji prefabrykowanej są parkingi (rys. 30.). Udział prefabrykacji konstrukcji obiektu dochodzi do 90%. Przy zastosowaniu syste-

mowych rozwiązań koszt budowy oraz czas realizacji zredukowane są do minimum. Ekonomiczne rozstawy konstrukcji oscylują do 17 m co pozwala na realizację siatki słupów np. 7,5 x 17 m (w systemie płyt TT lub kanałowych płyt sprężonych). Elementami usztywniającymi są stężenia połaciowe lub trzony konstrukcyjne.

**Rys. 30.**  
Przykład realizacji  
parkingu z zastosowaniem płyt TT



#### 4.3. Budownictwo przemysłowe

W budownictwie przemysłowym elementy prefabrykowane najpowszechniej znajdują zastosowanie do wykonywania konstrukcji hal fabrycznych i magazynowych (rys. 31.). Konstrukcja nośna takich hal składa się z układu prefabrykowanych słupów, belek oraz dźwigarów (rys. 32.). Spotykane są również rozwiązania, w których ściany zewnętrzne hal są wykonane w technologii prefabrykowanej, niekiedy jako elementy architektoniczne. Belki podwalinowe pod ściany osłonowe hal, a także stopy fundamentowe pod słupy konstrukcji nośnej hali, również mogą być prefabrykowane.

Rys. 31.  
Prefabrykowana  
konstrukcja hali



Prefabrykowane słupy żelbetowe oraz sprężone dostępne są w przekrojach prostokątnych oraz okrągłych, spotykane są także przekroje wielokątne i teowe. Długość produkowanych słupów może przekraczać nawet 30 m. Słupy mogą być wyposażane w konsole lub inne akcesoria do montażu belek dachowych, stopowych oraz ścian. Beton stosowany do wykonywania słupów zazwyczaj jest klasy

od C25/30 do C50/60. Zbrojenie, w zależności od technologii, może być wykonane ze stali zwykłej lub sprężającej. Asortyment produkowanych dźwigarów, obejmuje elementy dwuspadowe, bezspadowe o przekroju prostokątnym lub teowym. Długości prefabrykowanych dźwigarów mogą przekraczać nawet 50 m, a do ich wykonania stosuje się betony wyższych klas, np. C40/50 i C50/60.



Rys. 32.  
Dźwigary sprężane  
w trakcie wykonywania

Dodatkowo w części spotykanych hal podstawowym elementem konstrukcyjnym są prefabrykowane ściany typu „sandwich”, wyposażone zależnie od wymagań w otwory okienne, drzwiowe lub też pozbawione ich. Dzięki warstwie ocieplenia elementy te charakteryzują się dobrą izolacyjnością cieplną, mogą również posiadać powierzchnię architektoniczną (rys. 33.).

W halach o dużej rozpiętości oraz znacznych obciążeniach stropów bardzo często wbudowywane są płyty TT z żebrami o rozstawie najczęściej 1,2 m lub innym, uzależnionym od potrzeb projektu. Wysokość żeber wynosi od 40 do 90 cm, a ich zastosowanie umożliwia redukcję liczby słupów pośrednich w obiekcie.



Rys. 33.  
Prefabrykowane  
architektoniczne  
płyty ścienne

#### 4.4. Budownictwo infrastrukturalne

Cechą charakterystyczną budownictwa infrastrukturalnego jest duża powtarzalność wykonywanych elementów konstrukcji i obiektów. Uwarunkowania te sprawiają, że technologia prefabrykacji znajduje szerokie zastosowanie w budownictwie infrastrukturalnym.

W drogownictwie wielkowymiarowe prefabrykaty wykorzystywane są w obiektach mostowych, wiaduktach oraz kładkach dla pieszych lub przejściach podziemnych. Często spotykanym elementem konstrukcji takich obiektów są prefabrykaty belkowe dużych rozpiętości (rys. 35.). Elementy rurowe z betonu sprężonego mogą służyć do budowy przepustów pod drogami kołowymi i kolejowymi. Średnice tych rur (z wyłączeniem kielicha) wynoszą zazwyczaj od 600 mm do 1600 mm, a długość całkowita wynosi ok. 5 metrów. Przy budowie przewodów kanalizacyjnych i sanitarnych stosowane są rury kielichowe lub bezkielichowe o średnicach przekraczających 2000 mm i długościach dochodzących do 3 metrów. W budownictwie



twie elektro-energetycznym prefabrykowane słupy stosowane są do budowy linii niskiego i średniego napięcia czy też jako słupowe stacje transformatorowe, maszty telekomunikacyjne oraz konstrukcje wsporcze ogólnego przeznaczenia. Żerdzie wirowane mogą osiągać nawet 18 metrów długości.

Prefabrykaty wielkowymiarowe mają także zastosowanie przy wykonywaniu obudów tuneli (rys. 34.). Produkcja segmentów w zindywidualizowanych formach jest szczególnym wyzwaniem ze względu na bardzo małe tolerancje wymiarowe tych prefabrykatów, które stanowią warunek prawidłowego montażu.



Rys. 34.  
Elementy obudowy tuneli,  
ekrany akustyczne



Typowymi wyrobami infrastruktury drogowej są również prefabrykowane ekrany akustyczne. Mogą być wykonywane o różnych kształtach i zróżnicowanej materiałowo warstwie dźwiękochłonnej. Poza elementami konstrukcji mostów i wiaduktów powszechnie produkowane są również elementy uzupełniające, jak na przykład kapy mostowe, bariery rozdzielające, elementy przyczółków itp.

**Rys. 35.**  
Infrastrukturalne  
elementy prefabrykowane



#### 4.5. Budownictwo mieszkaniowe

Aktualnie prefabrykacja w budownictwie mieszkaniowym wykorzystywana jest w dość ograniczonym stopniu i ma inny charakter, niż miało to miejsce w przypadku dawnego systemu wielopłytowego. Systemy elementów prefabrykowanych stosowane w budownictwie mieszkaniowym są znacznie bardziej elastyczne, pozwalają na budowanie bez większych ograniczeń modułowych. Prefabrykaty często stosowane są w połączeniu z technologią monolityczną czy też murem. Produkowane elementy mają urozmaicone kształty (rys. 36.), a jakość ich wykonania nie budzi zastrzeżeń (rys. 37.), jak to miało miejsce w systemie wielopłytowym. Należy również zwrócić uwagę na zmianę technologii łączenia w warunkach budowy elementów prefabrykowanych. Obecnie coraz rzadziej wykonywane są połączenia na marki spawane, które zastępowane są przez połączenia zmonolityzowanie. Rozwiązanie takie jest korzystne ze względu na lepsze zabezpieczenie antykorozyjne i trwałość takiego połączenia.



**Rys. 36.**  
Prefabrykowane elementy  
ścienne oraz balkonowe





**Rys. 37.**  
**Przykład realizacji**  
**obiektu mieszkalnego**

Przedstawiony krótki przegląd asortymentu prefabrykatów wskazuje, że we wszystkich sektorach budownictwa prefabrykaty są szeroko stosowane. Niektóre elementy mają charakter uniwersalny i mogą być wykorzystane w obiektach o bardzo różnym przeznacze-



niu. Wiele elementów jest jednak przeznaczona do konkretnych rodzajów budynków i budowli, a różnice pomiędzy nimi, tak w zakresie wymagań materiałowych i konstrukcyjnych, projektowania, produkcji, montażu jak i eksploatacji obiektów, stanowią o specyfice poszczególnych sektorów.

Specyfika ta zostanie pokrótce przedstawiona w kolejnym rozdziale, natomiast uszczegółowiona w kolejnych Zeszytach Techniczno-Informacyjnych z cyklu.

## PREFABRYKACJA WE WSPÓŁCZESNYM BUDOWNICTWIE

### 5.1. Obiekty kubaturowe o konstrukcji nośnej szkieletowej – hale, biurowce

Temat będzie rozwinięty w zeszycie nr 2.

Obiekty, których szkieletowa konstrukcja składa się głównie z elementów prętowych, pionowych (słupy) i poziomych (belki, dźwigary, płatwie), mają zastosowanie

w budownictwie przemysłowym, logistyce (hale produkcyjne i magazynowe), budownictwie handlowym i wystawienniczym (wielkopowierzchniowe obiekty handlowe i wystawowe), oraz użytku publicznego (rys. 38., 39.). Konstrukcje tego typu są szczególnie predysponowane do prefabrykacji.

**Rys. 38.**  
**Obiekty**  
**magazynowe**  
**o konstrukcji**  
**szkieletowej**





**Rys. 39.**  
**Obiekty biurowe**  
**o konstrukcji szkieletowej**

Budynki hal mają na celu stworzenie możliwie jak największych wewnętrznych powierzchni otwartych, o niezakłóconej możliwości manewrowania i składowania. Na obudowę budynków oddziałują zazwyczaj tylko obciążenia śniegiem i wiatrem.

Typowy obiekt halowy może być jedno- bądź wielonawowy, jednokondygnacyjny, często ze stropem pośrednim w części rzutu (antresola) bądź na całości rzutu ( np. obiekt handlowy z parkingiem pod przestrzenią handlową). Obudowa najczęściej lekka panelowa, ale z podwalinami żelbetowymi, opcjonalnie ze ścianami prefabrykowanymi żelbetowymi na całą wysokość, lub do poziomu 2 – 4 m od posadzki, w strefie zagrożonej uszkodzeniami transportowymi. W obiektach produkcyjnych suwnice, w obiektach handlowych i użyteczności publicznej rozbudowane systemy grzewczo-wentylacyjne.

#### **Słupy i stopy**

W budownictwie preferowane są słupy (rys. 40.), o wysokości obiektu o przekroju prostokątnym lub kwadratowym, jednolitym, bądź zmiennym na wysokości. Wysokości do kilkunastu metrów nie stanowią problemu. W przypadku słupów o większych wysokościach lub dużej smukłości stosuje się symetryczne sprężenie przekroju, wspomagające pracę słupa w położeniu produkcyjno-transportowym, oraz na oddziaływanie sił poziomych na zamontowany słup.

Słupy sprężone stosuje się także w przypadku występowania dużych momentów (oddziaływanie mimośrodowe), np. słupy podsuwnicowe, lub w przypadku słupów o znacznych smukłościach (np. trejaże o długości 18 m. i przekroju 300/300).

Słupy ścian zewnętrznych projektuje się najczęściej w rozstawie 4,5–9 m, wynikającym z sztywności ścian osłonowych. Rozstaw słupów wewnętrznych podyktowany jest wymaganym rozwiązaniem przestrzeni użytkowej i determinuje rozpiętość dźwigarów przekrycia i rozwiązania konstrukcji dachu. W celu zwiększenia komfortu funkcjonalnego (poprzez zastosowanie wymianów pomiędzy słupami wewnętrznymi) poszerzany jest rozstaw słupów do dwukrotnej odległości rozstawu słupów zewnętrznych.

Połączenie słupa ze stopą fundamentową może być wykonywane w formie kielichowej, za pomocą łączników systemowych lub jako stoposłupy. W przypadku konieczności szybkiego montażu i niesprzyjających warunków dla robót monolitycznych (zima) korzystnym rozwiązaniem jest zastosowanie stoposłupów (słup utwierdzony w stopie jako jeden prefabrykat, rys. 40.).

Elementem przyspieszającym realizację mogą być również prefabrykowane stopy fundamentowe (rys. 40.), eliminujące znaczną część uciążliwych robót monolitycznych.



Rys. 40.  
 Stopy, słupy  
 i stoposłupy



### Konstrukcja dachu

Podstawowym elementem konstrukcji przekrycia są dźwigary dachowe (rys. 41.). Sprężone (strunobetonowe) dźwigary dachowe mogą być produkowane o rozpiętościach powyżej 30 m, przy czym z uwagi na uwarunkowania ekonomiczne najbardziej popularne są rozpiętości w przedziale 18 m ÷ 25 m. Rozstaw dźwigarów jest uzależniony od rodzaju zastosowanego pokrycia. Przy najczęściej stosowanym pokryciu opartym o blachę trapezową podparcie pokrycia trzeba zapewnić w rozstawie co 4,5 m ÷ 9 m. Można to zrealizować w systemie bezpłatwiowym, układając dźwigary na każdym ze słupów zewnętrznych (co 4,5 m ÷ 9 m), z ewentualnym oparciem w osiach wewnętrznych na przemieszczalnym słupie lub wsporniku wymianu. Alternatywą jest zastosowanie układu płatwiowego, gdzie na dźwigarach w rozstawie 10 m ÷ 18 m montuje się prostopadłe płatwie strunobetonowe w rozstawie dostosowanym do pokrycia.



Rys. 41. Konstrukcja dachu





Dźwigary mają z reguły przekrój dwuteowy, a płatwie prostokątny, trapezowy lub teowy.

By uzyskać spadek połaci dachowej, stosuje się dźwigary bezspadkowe o równoległych półkach, montowane ze spadkiem na zróżnicowanych wysokościowo głowicach słupów, dźwigary dwuspadowe (rys. 42.) o poziomym pasie dolnym i pochyłym pasie górnym z kalenicą w środku, lub rzadziej dźwigary jednospadowe.

Konstrukcja dachu oparta o strunobetonowe dźwigary i płatwie pozwala na łatwe uzyskanie wymaganej odporności ogniowej oraz długiej żywotności, w praktyce bez konieczności konserwacji, w przeciwieństwie do konstrukcji stalowych. Przy wymaganiach w zakresie odporności ogniowej całego dachu, gładkości powierzchni (zakłady spożywcze), lub zwiększonych obciążeń użytkowych pokrycie może być wykonane np. ze sprężonych płyt kanałowych o grubości 150 lub 200 mm lub tzw. płyt panwiowych. W tym wypadku sztywna tarcza płyty dachowej pozwala na rezygnację ze stężeń połaciowych.

#### Stropy pośrednie prefabrykowane z betonu sprężonego

W stropach pośrednich obiektów przemysłowo-handlowych na ogół mamy do czynienia z dużymi obciążeniami użytkowymi, wymaganiami w zakresie odporności ogniowej i dużymi rozpiętościami międzypodporowymi. W tych warunkach prefabrykacja żelbetowa oparta o elementy strunobetonowe nie ma właściwie konkurencji.

Podstawowy schemat statyczny to jednokierunkowo zbrojone prefabrykowane płyty stropowe, oparte na belkach żelbetowych bądź strunobetonowych podpartych przegubowo – nieprzesuwnie na wspornikach lub głowicach prefabrykowanych słupów żelbetowych.

Płyty stropowe mogą być zaprojektowane finalnie na pełną grubość stropu, lub, częściej, jako przygotowane do zespolenia z nadbetonem monolitycznym. W przypadku konstrukcji zespolonej istnieje możliwość zmiany schematu statycznego stropu z jedno- na wieloprzęsłowy.

Płyta pełna (rys. 43.) jest preferowana szczególnie przy budowie mieszkań i hoteli, gdzie szczególnie cenna jest bezspoinowa gładka powierzchnia spodu płyty. Płyty mogą być wykonywane do szerokości 2,7 m (ze względu na transport), ewentualnie do 3,75 m przy transporcie w pionie, rzadziej stosowane w obiektach handlowych i przemysłowych ze względu na małe rozpiętości.



Rys. 42.  
Dźwigar dwuspadowy



Rys. 43.  
Sprężona płyta stropowa pełna

#### Płyty z uzupełnieniem betonem monolitycznym (filigran)

Płyty typu filigran (rys. 44.) wykonywane są o szerokości do 3 m, zbrojone kratownicą. Płyty z kratownicą stosowane są jako płyty jednoosiowe tradycyjne lub sprężone, przy których zbrojenie rozciągane w prefabrykowanych płytach układane jest fabrycznie.

Dźwigary kratowe działają jako zbrojenie łączeniowe pomiędzy elementami płytowymi oraz nadbetonem. Jednocześnie dźwigary kratowe usztywniają wiotką płytę w transporcie i umożliwiają w trakcie budowy korzystny rozstaw podpór montażowych w granicach 2 – 3 m. Dzięki specjalnie wzmocnionym dźwigarom kratowym można zwiększyć rozpiętość podpór do 5 m. Jednoetapowe wykonanie betonu ze zbrojeniem górnym kładzionym na dźwigarach kratowych umożliwia wykonanie stropu jako płyty wieloprzęstowej. Dzięki temu strop działa jako sztywna tarcza, co pozwala zrezygnować z wieńca. Płyty te są szczególnie przydatne przy skomplikowanych rzutach stropu.



Rys. 44.  
 Płyta stropowa  
 „filigran”

#### Stropy ze sprężonych płyt kanałowych

Sprężone płyty kanałowe (rys. 45.) wykonuje się o wysokości od 150 do 500mm. Szerokość płyty ogranicza się do 1,2 m. Strunbetonowe płyty kanałowe umożliwiają osiągnięcie rozpiętości dochodzących do 20 m. Cechą charakterystyczną są otwory wzdłużne (kanały) zapewniające optymalną nośność przekroju przy niskiej masie elementu.





**Rys. 45.**  
**Płyty**  
**kanalowe**  
**i ich montaż**

Krawędzie boczne ukształtowane w zamki dyblowe zapewniające współpracę sąsiednich płyt przy nierównomiernym obciążeniu, do zabetonowania na budowie.

Dzięki sprężeniu można zrealizować konstrukcje nośne dachów i stropów o dużej rozpiętości (16 m ÷ 18 m), smukłości wynoszącej 1/40 lub 1/45 z nieznacznymi odkształceniami. Poprzez produkcję na szalunkach stalowych uzyskuje się wysoką jakość powierzchni spodu płyty. Przy stropach surowych, bez nadbetonu, ze względu na występujące różnice ugięć płyty, smukłość nie powinna przekraczać 1/35.

Aby uzyskać sztywną tarczę, prace monolityczne ograniczają się do spoinowania oraz wykonania wieńca. Szalunki oraz podpory montażowe nie są wymagane. Nadbeton wykonywany jest jako warstwa wyrównawcza i wspomagająca współpracę płyt przy przenoszeniu obciążeń punktowych i liniowych równoległych do zbrojenia oraz w przypadku konieczności uzyskania wyższych nośności przy ograniczeniu grubości stropu.

#### **Płyty TT**

Dwużebrowe płyty TT (rys. 46.) o rozstawie żeber nośnych 1,2 m lub zmiennym w zależności od rodzaju formy, i płytą o grubości od 5 do 12 cm. Szerokość płyty dostosowana jest do siatki słupów, przy czym ze względów transportowych najczęściej nie przekracza 2,5 m. Przy wysokości stropu równej 900 mm rozpiętość może wynosić nawet powyżej 20 m. Płyty TT są w stanie przejmować wysokie obciążenia użytkowe wynoszące 25 kN/m<sup>2</sup> i więcej. Z tego też względu płyty TT są szczególnie korzystne w budownictwie przemysłowym, jak i parkingach wielopoziomowych, gdzie strop żebrowy nie jest przeszkodą architektoniczną.

Stropy z zastosowaniem płyty TT wykonuje się najczęściej z nadbetonem na cienkiej (5 cm ÷ 7 cm) płycie z wypuszczonym zbrojeniem zespalającym i ewentualnie dźwigarkami typu „Filigran”.

Płyty bez nadbetonu o grubości 12 cm wykonuje się głównie do garaży wielopoziomowych, z gotowym szorstkim wykończeniem powierzchni. W tym przypadku krawędzie podłużne muszą być ukształtowane w zamki dyblowe, w celu zapewnienia współpracy sąsiadujących płyt.



Rys. 46.  
Płyty TT,  
nazywane też  
płytami „π” –  
elementy i montaż  
w konstrukcji





Rys. 47.  
Belki stropowe



### Belki stropowe

W zależności od sposobu oparcia płyt stropowych na belkach, belki mają przekrój prostokątny, odwróconego „T” lub „L” (belki krawędziowe). Najkorzystniejszy statycznie przekrój prostokątny (rys. 47.), z oparciem płyt stropowych na górnej powierzchni belki, daje stosunkowo dużą wysokość stropu, stąd konieczność w znacznej części przypadków stosowania przekrojów „T”, lub „L”, gdzie strop opiera się na wsporniku linowym w dolnej części belki.

### Elementy ścienne

W obiektach o konstrukcji szkieletowej mają zastosowanie ściany żelbetowe (rys. 48.), jako podwaliny, samonośne lub zawieszane na słupach ściany ostonowe, najczęściej warstwowe, oraz jako ściany oddzielenia pożarowego (samonośne – jednowarstwowe).

Powszechnie stosuje się ściany podwalinowe prefabrykowane z uwagi na odporność żelbetu na uderzenia i warunki środowiskowe. Najczęściej jako belko-ściany oparte na słupach konstrukcji szkieletowej. Podwaliny, w zależności od potrzeb, mogą być jedno-, dwu- lub trzywarstwowe.



Rys. 48.  
 Montaż  
 elementów ściennych



Ściany nadziemia, w zależności od pełnionej funkcji produkuje się jako jedno- lub trójwarstwowe. Szczególnym rodzajem są ściany oddzielenia pożarowego, o odporności ogniowej powyżej 120 minut, o odpowiedniej grubości i złączach i mocowaniach do słupów o identycznej odporności sprawdzonych na rozszczelnienie i stateczność w warunkach pożarowych. Sprawdzonym rozwiązaniem jest zastosowanie słupów o przekroju „H” i dylów ściennych wbetonowanych we wręby słupów i powiązanych ze sobą zamkiem dyblowym. Dyle mogą być żelbetowe pełne lub z płyt kanałowych o dwustronnym symetrycznym sprężeniu.

System szkieletowej prefabrykacji żelbetowej obiektów biurowych opiera się na siatce słupów jednokondygnacyjnych z łącznikami (wytykami) do powiązania monolitycznego ze stropem i słupem wyższej kondygnacji. Prefabrykowany słup jednokondygnacyjny może być o dowolnym przekroju. Na słupach opiera się belki stropowe, najczęściej o przekroju odwróconego „T”, a na nich płyty stropowe. Aby ograniczyć wysokość stropu, dąży się do zmniejszenia wysokości belek, stosując sprężenie i zespolenie z nadbetonem płyty stropowej. Na obrzeżach zewnętrznych stosuje się belki o przekroju „L”, często o zwiększonej wysokości w celu stworzenia balustrady wokół stropu. Ten system nadaje się przy konstruowaniu fasady osłonowej szklano-aluminiowej, posiada pełną

swobodę kształtowania wnętrz. Wadą jest niedostateczna sztywność konstrukcji na siły poziome. Często trzon komunikacyjny nie zapewnia dostatecznej sztywności i trzeba wprowadzać dodatkowe ściany usztywniające, niebiorące udziału w przenoszeniu obciążeń pionowych. Problemem jest również przeprowadzenie instalacji przez potężne belki stropowe.

### 5.2. Obiekty kubaturowe z prefabrykowanymi ścianami nośnymi - budynki mieszkalne i biurowe

Temat będzie rozwinięty w zeszycie nr 3

#### Wielkopłytowe budownictwo mieszkaniowe

Konstrukcje wielokondygnacyjnych budynków mieszkalnych i biurowych, oparte na wielkowymiarowych ścianach prefabrykowanych, określane jako wielka płyta stanowiły w latach 1960-1990 dominujący rodzaj budownictwa. Po całkowitym zaniku zapotrzebowania na konstrukcje wielkopłytowe w latach 90. i na początku XXI wieku ten rodzaj budownictwa odzyskuje utraconą popularność, jako jedno z rozwiązań konstrukcyjnych możliwych do zastosowania w budowie tych obiektów. Odrzucenie wielkiej płyty w latach 90., w znacznym stopniu miały charakter polityczny, jako symbolu minionego systemu. Główne grzechy, jak małe i нефunkcjonalne mieszkania, słaba izolacyjność cieplna i akustyczna, monotonia, doprowadzona do absurdu typowość, nadmierna wielkość osiedli i budynków, nie wynikają z istoty konstrukcyjnej, a uwarunkowań czasu, w których osiedla z wielkiej płyty budowano.

Obecna prefabrykacja pozbawiona jest tych słabości. Układy konstrukcyjne budynków są tak dobierane, aby zorganizować swobodną przestrzeń wewnętrzną. Ściany zewnętrzne mogą być perforowanymi elementami konstrukcyjnymi, tworzącymi skorupę usztywniającą cały ustrój. Na świecie bardzo często wy-

korzystywane są stropy z prefabrykowanych płyt kanałowych płyt sprężonych (ang. *HC - hollow core slabs*). Często stosowanym rozwiązaniem jest sprężenie, w różnych formach, a uzasadnieniem jest tu łatwość zwiększania rozpiętości, oszczędność materiałów, możliwości dopełnienia wysokich wymagań jakościowych, elegancja rozwiązań konstrukcyjnych. Wznoszone są również budynki wysokie, ponad 100 m, przykładem może być prawdopodobnie najwyższy budynek wielkopłytowy w Europie zbudowany w Hadze. Współczesne budynki wielkopłytowe nie są już obarczone syndromem 3D (*dirty, dangerous, difficult*), a dużą rolę odgrywają tu atrakcyjne elewacje (rys. 49, 50).



Rys. 49.  
 Osiedle domów jednorodzinnych  
 realizowane w technologii  
 prefabrykowanej





**Rys. 50.**  
 Osiedla mieszkalne  
 realizowane w technologii  
 prefabrykowanej



Obiekty budownictwa mieszkaniowego bardzo często cechuje ściany układ konstrukcyjny. W wielorodzinnych budynkach mieszkalnych, niezależnie od ich konstrukcji, ściany międzymieszkań i oddzielające komunikację (klatki schodowe, szachty windowe, korytarze) od mieszkań spełniają rolę oddzielenia akustycznego, pożarowego i przeciwwłamaniowego. Oznacza to, grubość ściany żelbetowej minimum 16 cm. Ściany o tych grubościach mogą z powodzeniem spełniać również funkcję ścian nośnych, a ich liczba i rozmieszczenie jest przy przeciętnej wielkości mieszkań, wystarczająca do oparcia stropów i usztywnienia budynku. Pozwala to na wybór technologii wykonania ścian wewnętrznych na podstawie analizy ekonomicznej. Prefabrykacja żelbetowa konstrukcyjnych ścian wewnętrznych, połączona z prefabrykacją stropów i elementów komunikacyjnych (schody, szyby windowe), pozwala na **wznoszenie konstrukcji w tempie niemożliwym do osiągnięcia przy wyborze innych rozwiązań materiałowych.**

#### Ściany jednowarstwowe

Ściany jednowarstwowe są stosowane jako wewnętrzne (rys. 51.), oraz jako zewnętrzne konstrukcyjne, pod ocieplenie i obudowę elementami fasadowymi. Są wysokości kondygnacji, ich długość dochodzi do 11 m, grubość



zazwyczaj 16–20 cm, krawędzie pionowe przystosowane do wykonania zamków połączeniowych z innymi płytami. Ograniczenia wymiarowe wynikają najczęściej z ograniczonych możliwości montażowych przewidzianych do zastosowania żurawi. Odpowiednio zorganizowany montaż – nośność dźwigów – pozwala stosować w obiektach ściany o długości 16 m.

W krawędziach poziomych mogą być osadzone akcesoria do połączenia ze stropami i ścianami niższej i wyższej kondygnacji, jeżeli takie są obliczeniowo, lub normowo wymagane. Otwory drzwiowe i okienne mogą być wyposażone w okucia ułatwiające montaż zabudowy otworów. W ścianie mogą być osadzone puszki i rurki kablowe do instalacji elektrycznych, telefonicznych i innych. Wprowadzenie do ścian instalacji kablowych wymaga wcześniejszego szczegółowego projektu tych instalacji.

Ściany jednowarstwowe mogą być formowane w pozycji pionowej lub poziomej. Zaletą produkcji w pionie, jest jednakowa jakość obu głównych powierzchni ściany, wadą bardziej pracochłonne osadzanie akcesoriów, a w szczególności osprzętu elektrycznego, oraz brak kontroli nad ich lokalizacją podczas betonowania. Nadają się do produkcji powtarzalnej, o nieskomplikowanych kształtach. Przy produkcji na stołach w pozycji poziomej mamy jedną powierzchnię szalunkową, a drugą zacieraną (o innym wyglądzie), ale zapewniona jest lepsza kontrola nad akcesoriami i łatwość wprowadzania zmian, w tym zmian wysokości w obrębie elementu, i np. wsporników na płaszczyźnie ściany.



Rys. 51.  
 Ściana  
 jednowarstwowa

### Ściany dwuwarstwowe

Ściany dwuwarstwowe składają się z żelbetowej warstwy konstrukcyjnej i izolacji termicznej (rys. 52.). Ten typ ściany, nie lubiany przez producentów ze względu na narażenie na uszkodzenia warstwy izolacyjnej w czasie składowania i transportu, ma zastosowanie w obiektach przewidzianych pod obudowę innym materiałem elewacyjnym, np. klinkierem. Mają uzasadnienie w obiektach wykonywanych np. w okresie zimowym, gdzie dzięki izolacji można prowadzić wewnątrz prace wykończeniowe, a wykończenie elewacji pozostawić na bardziej sprzyjające warunki pogodowe.



Rys. 52.  
 Ściana 2-warstwowa  
 z wbudowaną  
 stolarką okienną

### Ściany trójwarstwowe

Trójwarstwowe ściany zewnętrzne (rys. 53.), nośne lub osłonowe (samonośne) składają się z żelbetowej warstwy o grubości 12–20 cm, izolacji termicznej (styropian, styrodur, wełna mineralna), o grubości zapewniającej żądaną izolacyjność cieplną (od 6 cm do ponad 20 cm) i warstwy fakturowej żelbetowej o grubości 7-10 cm. Powierzchnia fakturowa może być z betonu gładkiego (od strony formy), pod malowanie lub tynk ozdobny, boniowana, kształtowana przestrzennie matrycami, lub z odstłoniętym kruszywem (faktura płukana). Istnieje możliwość dostawy z osadzoną stolarką okienną. Ściany są produkowane w pozycji poziomej na stołach uchylnych.



**Rys. 53.**  
 Ściana 3-warstwowa  
 z powierzchnią  
 architektoniczną

Aby umożliwić swobodne odkształcenia warstwy fakturowej sąsiednie płyty są rozdzielane szczelinami dylatacyjnymi, wypełnionymi materiałem trwale elastycznym, tworzącymi charakterystyczny podział elewacji.

#### Stropy i schody

W budownictwie mieszkaniowym, niezależnie od konstrukcji ścian, powszechnie stosuje się stropy prefabrykowane dające gładką powierzchnię sufitową, niewymagającą wyrównywania tynkiem, a więc płyty stropowe pełne

**Rys. 54.**  
 Rozmieszczenie  
 instalacji w nadbetonie  
 stropu filigran



zbrojone i sprężane, stropy zespolone typu filigran i sprężane płyty kanałowe. Stropy kanałowe cenione są z uwagi na niską cenę i łatwość montażu. Wymagają niewielkiego zakresu konstrukcyjnych robót monolitycznych (złącza dyblowe i wieńce). Stropy typu filigran, przy znacznie większej pracołłonności na budowie (podparcie montażowe, duży zakres zbrojenia i robót monolitycznych), są chętnie stosowane ze względu na szerokie możliwości wykonania w nich wszelkiego rodzaju instalacji (rys. 54.). Prefabrykowane biegi schodowe (rys. 55.) umożliwiają uzyskanie gładkiej, niewymagającej dodatkowej obróbki powierzchni oraz w znacznym stopniu ograniczają pracołłonność robót budowlanych.



**Rys. 55.**  
 Prefabrykowane  
 biegi  
 schodowe



### Obiekty biurowe ze ścianami konstrukcyjnymi

W odróżnieniu od wielokondygnacyjnych budynków mieszkalnych, czy hotelowych, gdzie podział rzutu kondygnacji na mniejsze przestrzenie mieszkalne masywnymi ścianami jest rzeczą naturalną i pożądaną, w budynkach biurowych konieczna jest znacznie większa elastyczność kształtowania przestrzeni i możliwość zmian aranżacji w trakcie użytkowania. Większa wysokość użytkowa pomieszczeń i znacznie większa liczba instalacji podstropowych i podpodłogowych powodują inne podejście do konstrukcji obiektu i konkurencję również w obrębie konstrukcji prefabrykowanych, systemów szkieletowych i opartych na ścianach nośnych (rys. 56.).

System prefabrykacji żelbetowej obiektów biurowych oparty o prefabrykowane ściany konstrukcyjne przy regularnym kształcie rzutu pozwala na eliminację wymienionych mankamentów. Stropy z płyt kanałowych i TT pozwalają na jednoprzęsłowe przekrycie przeciętnej szerokości budynku w układzie podłużnych zewnętrznych ścian nośnych, dając powierzchnię bez konstrukcyjnych elementów wewnętrznych. Podłużne zewnętrzne ściany nośne przy ograniczeniu powierzchni okien zapewniają sztywność w kierunku podłużnym. W kierunku poprzecznym system jest wiotki i wymaga usztywnienia ścianami poprzecznymi, które mogą służyć również jako ściany oddzielenia pożarowego. Do prefabrykacji żelbetowej nadaje się również korytarzowy trzytraktowy układ funkcjonalny, który może być także zrealizowany w systemie mieszanym: korytarz obudowany prefabrykatami ściennymi, a w osiach zewnętrznych słupy i belki prefabrykowane.

### 5.3. Obiekty infrastruktury transportowej – konstrukcje inżynierskie drogowo-mostowe

Temat będzie rozwinięty w zeszycie nr 4

W budownictwie infrastrukturalnym istnieje wiele rodzajów obiektów, w których powszechnie stosowane są wyroby prefabrykowane. Na tablicy 2. zestawiono rodzaje obiektów budownictwa infrastruktury transportowej wraz ze wskazaniem przykładów elementów prefabrykowanych stosowanych w tych obiektach. W pozostałych gałęziach budownictwa infrastrukturalnego istnieje wybór między technologią monolityczną a prefabrykowaną, ale skala stosowania prefabrykatów jest znaczna, a często oba warianty są łączone w jednym obiekcie (tzw. konstrukcje hybrydowe).

Dominującymi elementami w ogólnym asortymencie wyrobów prefabrykowanych w budownictwie infrastrukturalnym są wyroby, które można sklasyfikować jako wielkogabarytowe. Wyroby drobno- i średnio wymiarowe często stanowią jedynie elementy uzupełniające. Wyjątkiem są



Rys. 56.  
 Budynek  
 Reprograf  
 w Warszawie

nawierzchnie dróg, w przypadku których najpowszechniej stosowane są drobnowymiarowe elementy nawierzchniowe (np. kostka brukowa, trylinka), natomiast wykorzystanie płyt nawierzchniowych jest marginalne i ogranicza się głównie do wykonywania nawierzchni tymczasowych lub lokalnych odcinków nawierzchni ażurowej czy elementów uspokojenia ruchu wbudowanych w nawierzchnię.

Tab. 2. Rodzaje elementów prefabrykowanych do budownictwa infrastrukturalnego

Budownictwo infrastrukturalne	Przeznaczenie funkcjonalne	Rodzaj elementów prefabrykowanych	
		Wielkowymiarowe	Drobno- lub średniowymiarowe
Infrastruktura transportowa	Obiekty inżynierskie ciągów komunikacyjnych - mosty, wiadukty, kładki, tunele	Dźwigary belkowe i łukowe, belki mostowe, elementy płyt pomostu, sklepienia łukowe i prostokątne, przepusty, tubingi i inne elementy obudów	Deski gzymsowe (kapy), bariery, umocnienia przyczółków
	Nawierzchnie dróg kołowych	Płyty nawierzchni	Elementy drobnowymiarowe (kostka brukowa, trylinka)
	Nawierzchnie ciągów pieszych i rowerowych	–	j.w. + płyty chodnikowe
	Konstrukcja dróg szynowych	Płyty torowiskowe	Podkłady kolejowe
	Elementy obsługi ciągów komunikacyjnych	Słupy oświetleniowe, ekrany antyhałasowe, bariery, ściany oporowe, elementy peronowe	Elementy odwodnień, umocnienia skarp
	Parkingi wielopoziomowe	Słupy, podciągi, płyty stropowe, bariery, płyty elewacyjne, stopy fundamentowe, belki podwalinowe, biegi schodowe, klatki schodowe	–
	Umocnienia szlaków wodnych	Obudowy wybrzeża, falochrony, profile do ścianek szczelnych	–

### Obiekty inżynierskie

Elementy prefabrykowane wykorzystywane są w obiektach mostowych, wiaduktach, estakadach oraz kładkach dla pieszych lub przejściach podziemnych w celu przyspieszenia robót i tam, gdzie nie ma możliwości wykonania konstrukcji podporowych pod szalunki konstrukcji monolitycznych – nad ciekami wodnymi, drogami i liniami kolejowymi oraz w miejscach, gdzie nie ma możliwości długotrwałego wyłączenia z ruchu.

Najczęściej spotykanym elementem konstrukcji takich obiektów są prefabrykaty belkowe (rys. 57.). Spotykane są również prefabrykaty o kształcie łukowym (rys. 58.) lub

łupinowym (rys. 59.). Ciekawym przykładem jest pełna prefabrykacja krótkiego przęsła wiaduktu kolejowego, w którym aspekty konstrukcyjne połączono z efektem architektonicznym obiektu.

Prefabrykaty w postaci belek sprężonych projektowane są jako elementy do zespolenia monolitycznego z nadbetonem, o nośności zapewniającej przeniesienie ciężaru własnego konstrukcji podczas betonowania.

Stosuje się dwa podstawowe kształty przekroju belek żelbetonowych sprężonych:

- belki o kształcie odwróconego „T” o szerokości 60 lub

90 cm – układane obok siebie, dające po wykonaniu nadbetonu zespolony przekrój pełny: stosuje się tam, gdzie istotna jest mała wysokość konstrukcji przęsła. Rozwiązania katalogowe pozwalają na wykonanie przęseł o rozpiętości do 18 m w schemacie jedno- lub wieloprzęstowym;

- belki typu „T” tworzące po zespoleniu przekrój wielozębrowy – najbardziej korzystny statycznie, ale o wyższej wysokości przekroju. Belki tego typu pozwalają na wykonanie przęseł o rozpiętości do 33 m;
- belki typu „IG” o rozpiętości do 42 m;
- belki typu KNG.

Dla większych rozpiętości stosuje się prefabrykowane elementy sprężone lub zbrojone przeznaczone do zespolenia, traktowane jako samonośne szalunki tracone w kształcie koryt otwartych lub zamkniętych, do dobetonowania i sprężenia kablami na budowie.

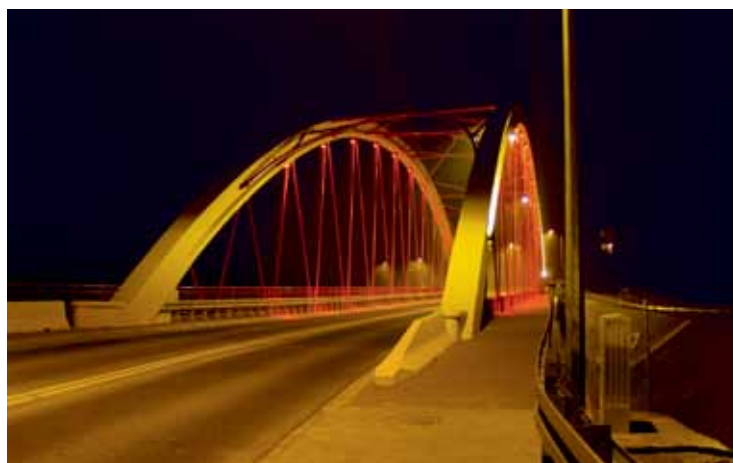
Przyczółki mostowe wykonywane są z reguły jako monolityczne. Ciekawym rozwiązaniem obudowy przyczółków wiaduktów, są prefabrykowane płyty żelbetowe kotwione odciągami do gruntu nasypu. Przepusty drogowe o dużych rozmiarach (rys. 60.), których zastosowanie w nasypach dróg umożliwia przejście zwierzętom, uregulowanie przepływu wód opadowych.



Rys. 57.  
 Strunobetonowe belki  
 prefabrykowane  
 w konstrukcji wiaduktów



Rys. 58.  
 Łuki prefabrykowane,  
 poprzecznie przęsłowe –  
 budowa wiaduktu nad linią  
 PKP w miejscowości Rytno



Rys. 59.  
 Prefabrykowane łupiny  
 mostu nad rzeką Bóbr  
 w Jeleniej Górze



Rys. 60.  
 Przepusty  
 drogowe



W mostownictwie stosowanych jest także szereg innych elementów, takich jak kapy, deski gzymsowe, zabezpieczenia przyczółków itp. (rys. 61.). Prefabrykaty mają także zastosowanie przy wykonywaniu obudów tuneli, w tym tunelu II linii metra w Warszawie. Każdy segment obudowy tunelu (o średnicy ok. 6 m i szerokości 1,5 m) składa się z sześciu elementów powłokowych o masie 4–5 ton i mniejszego klucza zamykającego obwód segmentu. Produkcja segmentów w zindywidualizowanych formach jest szczególnym wyzwaniem ze względu na bardzo małe tolerancje wymiarowe tych prefabrykatów, które stanowią warunek prawidłowego montażu.



Rys. 61.  
 Prefabrykaty gzymsowe wykonane w stylizowanych formach – most na Nysie Łużyckiej w Zgorzelcu

### Konstrukcja dróg szynowych

W konstrukcji dróg szynowych powszechnie stosowane są drobnowymiarowe elementy (podkłady sprężone lub żelbetowe), natomiast elementy średnio lub wielkowymiarowe występują w postaci płyt torowiskowych stosowanych głównie w budowie linii tramwajowych (rys 62.). Płyty jezdniowe podtorzy tramwajowych do mocowania szyn w masach elastomerowych tłumiących drgania i hałas od ruchu pojazdów szynowych są prefabrykowanym rozwiązaniem z pogranicza drogowo-torowego.

Najbardziej znanym zastosowaniem prefabrykatów w budownictwie kolejowym są strunobetonowe podkłady kolejowe (rys. 62.). Znormalizowanie wymiarowe obiektów infrastruktury kolejowej jest podstawą do prefabrykacji jej elementów, takich jak perony, rampy, koryta odwodnieniowe torowisk, przejazdy, słupy trakcyjne.



Rys. 62.  
 Płyta torowiskowa,  
 podkłady kolejowe

### Elementy obsługi ciągów komunikacyjnych

Asortyment elementów obsługi ciągów komunikacyjnych jest bardzo zróżnicowany i podobnie jak w przypadku elementów konstrukcji dróg szynowych dominują w nim wyroby drobnowymiarowe. Do elementów średnio i wielkowymiarowych można zaliczyć bariery drogowe (tymczasowe lub stałe), wyspy, bariery czołowe w otoczeniu np. punktów poboru opłat na autostradach oraz ekrany akustyczne (rys. 64.).

W budowie obiektów towarzyszących szlakom kolejowym szerokie zastosowanie mają ścianki oporowe typu „L” oraz inne elementy składające się na system prefabrykowanych płyt peronowych (rys. 63.).

Rys. 63.  
 Ścianka oporowa typu „L”  
 oraz płyta peronowa



We wszystkich liniowych ciągach komunikacyjnych powszechnie stosowane są różne typy prefabrykowanych przepustów, odwodnień, a także przejść dla zwierząt. W całości prefabrykowane mogą być obiekty o stosunkowo niewielkich rozmiarach, jak przepusty dla lokalnych cieków wodnych, przejścia dla drobnych zwierząt, przepusty instalacyjne, gdzie szybkość montażu pozwala na zachowanie ciągłości prowadzenia robót ziemnych, podbudowy i nawierzchni.



Rys. 64.  
 Ekrany akustyczne





### Umocnienia szlaków wodnych

Szereg prefabrykowanych elementów wielkowymiarowych stosowanych jest w regulacjach i umocnieniach wybrzeży cieków i zbiorników wodnych. Przykładem takich wyrobów są przestrzenne prefabrykaty falochronowe oraz betonowe kształtki do budowy ścianek szczelnych.

### Garaże i parkingi

Osobne zagadnienie stanowią prefabrykowane konstrukcje wielokondygnacyjnych garaży. Obiekty tego typu zaliczane są do budownictwa infrastrukturalnego, ale ich konstrukcja podobna jest do kubaturowych obiektów budownictwa ogólnego i przemysłowego,

tak więc zestawy elementów konstrukcyjnych do ich wznoszenia (słup-belka- płyta) są takie same.

### 5.4. Obiekty infrastruktury technicznej – uzbrojenie terenu, zbiorniki i kominy

Temat będzie rozwinięty w zeszycie nr 5

Obiekty związane z sieciami uzbrojenia terenu (energetyka, wod-kan, sieci transmisyjne) są realizowane w zasadzie wyłącznie z użyciem prefabrykatów (tabl. 3.), przy czym dominują w tym zakresie prefabrykaty z betonu cementowego, ale stosowane są też inne odmiany betonu (PC, PCC) oraz prefabrykaty stalowe.

Tab. 3. Rodzaje elementów prefabrykowanych do budownictwa infrastrukturalnego

Budownictwo infrastrukturalne	Przeznaczenie funkcjonalne	Rodzaj elementów prefabrykowanych	
		Wielkowymiarowe	Drobno- lub średniowymiarowe
Infrastruktura techniczna	Sieci energetyczne	Żerdzie, słupy oświetleniowe	Elementy uzupełniające
	Sieci ciepłe	–	Elementy obudowy
	Sieci telekomunikacyjne	Maszty	Studzienki, koryta instalacji
	Sieci zaopatrzenia w wodę	Rury ciśnieniowe	–
	Sieć kanalizacyjna	Rury bezciśnieniowe, zbiorniki, studnie	Kręgi, pokrywy, łupiny, systemy odwodnień
	Systemy oczyszczania	Elementy oczyszczalni przydomowych, ścianki zbiorników rolniczych (np. na gnojowicę)	

### Liniowa sieć energetyczna

W budownictwie elektro-energetycznym prefabrykowane słupy stosowane są do budowy linii niskiego i średniego napięcia czy też jako słupowe stacje transformatorowe, maszty telekomunikacyjne, słupy w liniach trakcji kolejowych i tramwajowych, konstrukcje wsporcze estakad i tablic reklamowych. Słupy te wyposażone są często w różne akcesoria umożliwiające montaż elementów trakcji lub elementów oświetleniowych. Rzadko spotykaną praktyką jest stosowanie prefabrykowanych wsporników z uwagi na ryzyko korozji.

Wykonywane w starszej technologii żerdzie żelbetowe oraz nowocześniejsze i bardziej uniwersalne żerdzie wirowane, które charakteryzują się wyższą jakością, stosowane są powszechnie. Żerdzie wirowane produkowane są z betonu o wyższej klasie wytrzymałości, np. C40/50, niż ma to miejsce w przypadku żerdzi żelbetowych. Pozwala to nie tylko uzyskać elementy o większej długości, lecz także wpływa korzystnie na trwałość elementów w trudniejszych warunkach eksploatacji. Dodatkową korzyścią stosowania żerdzi wirowanych o gładkiej powierzchni zewnętrznej jest ograniczenie zawirowań powietrza i związana z tym redukcja hałasu oraz drgań w przypadku sieci trakcyjnych pociągów o wysokich prędkościach. Żerdzie wykonywane w tej technologii mogą osiągać nawet 18 metrów długości.

### Instalacje zaopatrzenia w wodę

Rury ciśnieniowe (w których woda płynie, wykorzystując pełen przekrój elementu) służące do systemów zaopatrzenia w wodę muszą spełniać szereg wymagań związanych ze szczelnością i trwałością w warunkach ciśnienia roboczego wody wynoszącego od 0,5 MPa do 2 MPa. W Polsce produkowane są rury o średnicy do 1,6 m sprężone podłużnie i obwodowo. Istnieje wiele innych systemów rur ciśnieniowych zarówno sprężonych, jak i żelbetowych.

### Kanalizacja

Gama elementów betonowych bezciśnieniowych służących do budowy sieci kanalizacyjnych jest znacznie szersza niż w przypadku sieci wodociągowych. Rozwiązania mają często charakter systemowy, obejmując różne typy rur oraz elementów uzupełniających, np. studzienek rewizyjnych, zwężek, pokryw itp.

Zróżnicowanie rur (rys. 65.) związane jest z technologią układania rur (wykop otwarty, mikrotunelingu – rury przeciskowe), profilem przekroju (okrągłe, gardzielowe, jajowe, z kinetą), warunkami użytkowania (z wkładkami PE-HD, z betonu chemoodpornego) gabarytami (nawet do ponad 350 cm średnicy). Do innych elementów uzupełniających asortyment wyrobów kanalizacyjnych można zaliczyć systemy odwodnień liniowych, których kształty mogą być zróżnicowane.

Rys. 65.  
 Prefabrykowane  
 elementy kanalizacji



### Zbiorniki rolnicze

Zagadnienie budowy betonowych zbiorników w średnich i dużych gospodarstwach rolnych jest obecnie tematem szczególnego zainteresowania inwestorów indywidualnych z uwagi na wysoko postawione wymagania Unii Europejskiej w dziedzinie ochrony środowiska, zdrowia publicznego oraz zdrowia i dobrostanu zwierząt. Jednym ze stosowanych rozwiązań są zbiorniki częściowo prefabrykowane, złożone z monolitycznej płyty obornikowej oraz prefabrykowanych ścian. Warto zauważyć, że obiekty budownictwa rolnego są coraz częściej wykonywane z prefabrykatów żelbetowych (np. system elementów do wielostanowiskowych obór i chlewni, obejmujący płyty legowiskowe, płyty ażurowe, elementy odwodnień i elementy konstrukcji wsporczych).

### Kominy

Wykorzystanie prefabrykacji w budowie kominów i chłodni kominowych (rys. 66.) nie jest powszechne, ale jest możliwe. Chłodnia może być zrealizowana w postaci prefabrykowanej belkowo-słupowej konstrukcji wsporczej płaszcza wykonywanego monolitycznie.



Rys. 66.  
Budowa chłodni kominowej



### 5.5. Budownictwo niestandardowe, elewacje z prefabrykatów, mała architektura

Temat będzie rozwinięty w zeszytcie nr 6

Prefabrykacja betonowa daje szerokie możliwości kształtowania konstrukcji, formy przestrzennej i estetyki. Pozwala to kreować obiekty zgodnie z wizją architektów i oczekiwaniami inwestorów i użytkowników. Poniżej przedstawiono kilka realizacji niestandardowych.

Szerokie zastosowanie i uznanie inwestorów znajdują niestandardowe indywidualnie projektowane elewacje, zwłaszcza budynków użyteczności publicznej (rys. 67.). Elementy ściennie o nietypowych kształtach i ażurach bywają też stosowane jako przegrody wewnętrzne pozwalające aranżować ciekawe wnętrza obiektów.



Rys. 67.  
Niestandardowe elewacje  
w budynkach użyteczności publicznej



**Rys. 67.**  
Niestandardowe elewacje  
w budynkach użyteczności publicznej



W obiektach zamieszkania zbiorowego (hotele itp.) zastosowanie znajdują przestrzenne prefabrykaty zawierające moduł łazienkowy, które mogą być produkowane także z pełnym wewnętrznym wyposażeniem zamontowanym w wytwórni (rys. 68.).

Prefabrykacja łazienek umożliwia bezinwazyjne dostawienie węzła sanitarnego do istniejącego/budowanego obiektu. Po białym montażu uzyskuje się bowiem w pełni wykończoną łazienkę (z wszystkimi niezbędnymi instalacjami). Produkcja łazienek odbywa się w pełnym module w formach stalowych.



**Rys. 68.**  
Prefabrykowane  
łazienki

Ciekawym przykładem zastosowania technologii prefabrykacji w budownictwie publicznym jest wykonanie nietypowej konstrukcji neobarokowego kościoła (rys. 69). We wspomnianym przypadku wykonano prefabrykowane żelbetowe dźwigary łukowe o rozpiętości do 12 m. Ze względów technologicznych największy dźwigar (o masie 32 t) nawy głównej został podzielony na dwa elementy. W konstrukcji kościoła wykorzystano również prefabrykaty innego rodzaju, między innymi do przekrycia łukowego sklepienia. Sklepienie zostało wykonane jako strop zespolony prefabrykowano-monolityczny w postaci łupin stropu filigran.

**Rys. 69.**  
 Prefabrykowane dźwigary  
 w konstrukcji kościoła



Powszechnie stosowanymi elementami prefabrykowanymi są elementy dekoracyjne do budowy obiektów małej architektury (rys. 70.), takie jak gazony, ławki, murki, stoły i inne meble parkowe i ogrodowe, czy też donice, od których – jak wiadomo – prefabrykacja betonowa zaczęła się 150 lat temu. Interesującym rozwiązaniem z tej grupy obiektów jest przykład wykonania płyty pływającego pomostu żeglarskiego (rys. 71.).

**Rys. 70.**  
 Elementy dekoracyjne do  
 budowy obiektów małej architektury



**Rys. 71.**  
 Prefabrykowany pływający  
 pomost żeglarski



Niestandardowe rozwiązania w prefabrykacji stosowane są także w zakresie konstrukcji nośnej obiektów, projektowanych na indywidualne zamówienie belek, słupów, dźwigarów i płyt, dostosowanych do szczególnych wymagań architektonicznych i konstrukcyjnych (rys. 72.).

**Rys. 72.**  
Niestandardowe elementy konstrukcyjne



**PARTNERZY**





**Stowarzyszenie Producentów Betonów**  
02-829 Warszawa, ul. Mączyńskiego 2  
tel. 022 643-64-79, fax 022 643-78-41  
[www.s-p-b.pl](http://www.s-p-b.pl); e-mail: [biuro@s-p-b.pl](mailto:biuro@s-p-b.pl)

**Skład i druk Art Styl**  
[www.artstyl-reklama.com.pl](http://www.artstyl-reklama.com.pl)