



Prefabrykacja

- jakość, trwałość, różnorodność

- Zeszyt 2 - Część 1 -

**Konstrukcje szkieletowe
realizowane z elementów prętowych**

ISBN 978-83-941005-2-0

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

Autorzy:

dr inż. Grzegorz Adamczewski

prof. nzw. dr hab. inż. Piotr Woyciechowski

*W opracowaniu uczestniczyli przedstawiciele przedsiębiorstw - Członków Stowarzyszenia Producentów Betonów.***Współpraca:**

Bronisław Deskur

Bartosz Stasięko

Mariusz Bangrowski

Piotr Święconek

Marta Kozioł

Jan Makuszcwski

Arkadiusz Gacki

Konsultacje:

Marcin Landmann

Marek Roicki

Marzena Nowaczyk

Grzegorz Marzec

Michał Skrzypczyński

Piotr Szymanowski

Tomasz Wrona

Marcin Łuczak

Artur Kisiołek

Recenzent:

Prof. dr hab. inż.

Andrzej Cholewicki

Wydawca
Stowarzyszenie Producentów Betonów
Warszawa, październik 2015Copyright © by Stowarzyszenie Producentów Betonów
Warszawa 2015**Spis treści – część 1**

1. Wstęp	4
2. Charakterystyka ogólna obiektów szkieletowych	4
2.1. Klasyfikacja	4
2.2. Wymagania materiałowo-użytkowe	6
2.2.1. Trwałość betonowych elementów prefabrykowanych	6
2.2.2. Bezpieczeństwo pożarowe	11
2.2.3. Wymagania z zakresu fizyki budowli	12
2.2.4. Stany wyjątkowe	13
3. Prefabrykowane elementy nośne obiektów szkieletowych	14
3.1. Pokrycie dachu	14
3.2. Konstrukcja nośna przekrycia	14
3.1.1. Płatwie	16
3.1.2. Dźwigary dachowe	17
3.1.2.1. Dźwigary o pasach równoległych	17
3.1.2.2. Dźwigary dwuspadowe	18
3.1.2.3. Dźwigary jednospadowe	18
3.1.2.4. Wymiany	19
3.2. Stupy	21
3.2.1. Stupy o przekroju prostokątnym	23
3.2.2. Stupy o przekroju okrągłym	23
3.2.3. Stupy o przekroju wielobocznym	25
3.2.4. Stupy o przekroju dwuteowym	25
3.3. Stropy prefabrykowane	28
3.3.1. Belki stropowe	28
3.3.1.1. Belki o przekroju prostokątnym	29
3.3.1.2. Belki typu „odwrócone T” (RT)	29
3.3.1.3. Belki typu „L” (RL)	30
3.3.1.4. Belki zespolone	30
3.3.2. Płyty stropowe	31
3.3.2.1. Płyty pełne	31
3.3.2.2. Stropy zespolone typu filigran lub 2K	31
3.3.2.3. Płyty wielootworowe HC	31
3.3.2.4. Dwużebrowe płyty stropowe TT	33
3.4. Ściany w budynkach szkieletowych	33
3.4.1. Ściany wewnętrzne	33
3.4.2. Ściany zewnętrzne	34
3.4.3. Belkościany podwalinowe	36
3.5. Stopy fundamentowe	37
3.5.1. Stopy pod prefabrykowane stupy żelbetowe	37
3.5.2. Stopy pod stupy stalowe	39
3.6. Stopostupy	39
4. Ekonomiczno-techniczne porównanie prefabrykacji betonowej z alternatywnymi technologiami	41
4.1. Obiekty przemysłowe typowe	42
4.2. Obiekty biurowe, handlowe, użyteczności publicznej i mieszkaniowe	44
4.3. Obiekty o szczególnych wymaganiach	45
4.4. Ochrona przeciwpożarowa	45

Część 2 Zeszytu 2 zawiera:

5. Projektowanie prefabrykowanych obiektów przemysłowych

6. Technologia robót montażowych

7. Przykłady realizacji prefabrykowanych obiektów przemysłowych

8. Literatura, wykaz norm



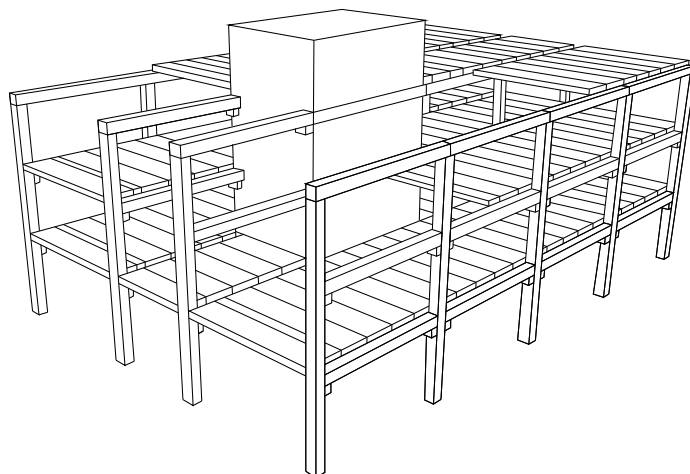
WSTĘP

Zadaniem niniejszego opracowania jest omówienie zagadnień technicznych związanych z technologią prefabrykowanych obiektów o konstrukcji szkieletowej w nawiązaniu do oferty rynkowej polskiej prefabrykacji.

Pojęcie „konstrukcja szkieletowa” związane jest z charakterystyką statyczno-wytrzymałościową konstrukcji budynków oraz budowli i oznacza, że ustrój nośny obiektu składa się z poziomych i pionowych elementów prętowych. Elementy pionowe stanowią stopy, na których oparte są poziome rygle (belki lub dźwigary). Uzupelnienie konstrukcji szkieletowej stanowią płyty stropowe. W obiektach wielokondygnacyjnych elementy pionowe i poziome prefabrykowane są jako jeden element nośny – w postaci ramy (np. ramy H).

Szczególny przypadek konstrukcji stanowi układ bezryglowy, w którym płyta stropowa oparta jest bezpośrednio na słupach i oprócz swojej podstawowej typowej funkcji zastępuje rygle.

Konstrukcje szkieletowe historycznie kojarzą się z budownictwem z drewna, a konkretnie z tzw. murem pruskim i murem szachulcowym, stanowiącym nośny szkielet drewniany wypełniony odpowiednio murem z cegły ceramicznej lub mieszaniną gliny i słomy. Kolejnym chronologicznie rodzajem materiału, stosowanym jako szkielet nośny, jest stal (żeliwo), które umożliwiły budowanie konstrukcji szkieletowych o dużych gabarytach.



Rys. 1.
Konstrukcja szkieletowa

CHARAKTERYSTYKA OGÓLNA OBIEKTÓW SZKIELETOWYCH

Konstrukcje szkieletowe umożliwiają swobodne kształtowanie wnętrza oraz zmiany podziału funkcjonalnego pomieszczeń w trakcie eksploatacji obiektu budowlanego. Istotą układów szkieletowych jest racjonalne wykorzystanie technicznych właściwości materiału konstrukcyjnego, jakim może być stal, żelbet oraz drewno. Prowadzi to do zmniejszenia obciążeń statycznych obiektu budowlanego, jak również do minimalizacji czasu realizacji obiektu.

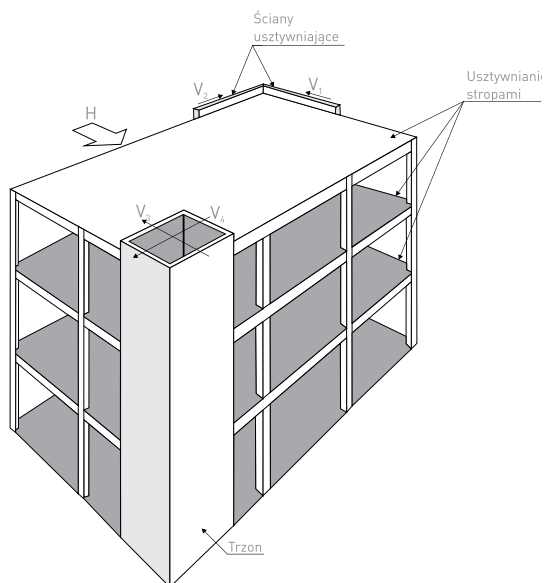
Rozwiązania szkieletowe są szczególnie predestynowane do wznoszenia konstrukcji przemysłowych oraz obiektów wielkopowierzchniowych, choć wykorzystuje się je również w budownictwie jednorodzinym. Ze względu na to, że układ nośny konstrukcji jest całkowicie niezależny od pozostałych układów obiektu, jak np. instalacji, ścian działowych itp., konstrukcje szkieletowe umożliwiają łatwą adaptację obiektu do innych celów oraz funkcji, a także w razie potrzeby łatwy demontaż całości lub części konstrukcji i możliwość ponownego wykorzystania wybranych elementów.

Stateczność konstrukcji prefabrykowanej jest zagadnieniem szczególnie ważnym z uwagi na to, że właściwa praca układu nośnego realizowana jest dopiero po pełnym montażu prowadzącym do docelowej pracy złącza. W trakcie eksploatacji złącza te muszą przenosić oddziaływania m.in. od sił poziomych, np. związanych z obciążeniem wiatrem.

2.1. Klasyfikacja

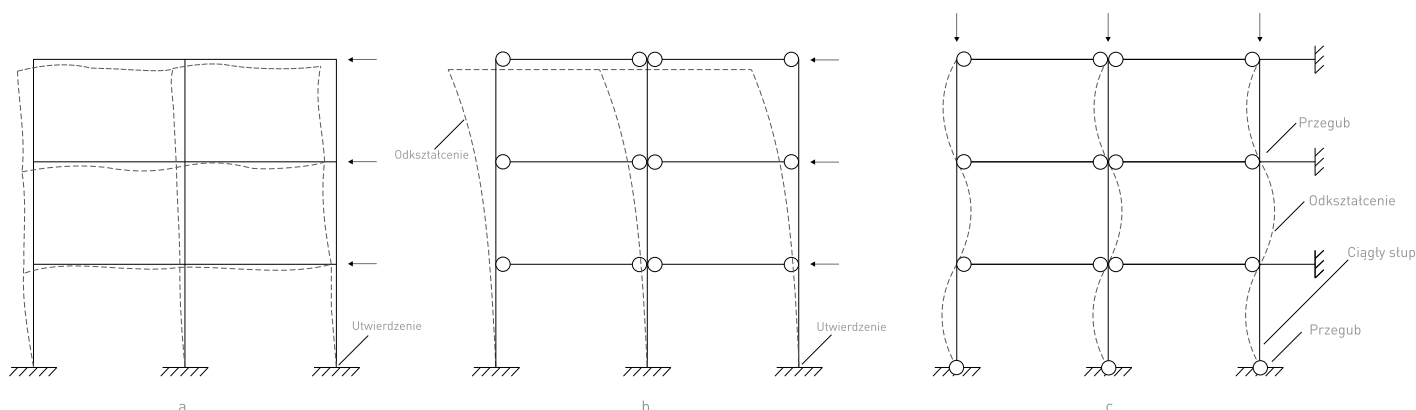
Klasyfikacja na płaskie i przestrzenne konstrukcje szkieletowe (tab. 1) wynika przede wszystkim z układu elementów konstrukcyjnych. Według tego kryterium wyróżnia się układy: słupowo-belkowy (słupowo-ryglowy, słupowo-dźwigarowy) oraz słupowo-płytowy (bezbelkowy). W konstrukcjach szkieletowych słupowo-belkowych obciążenia z przekrycia lub stropu są przekazywane przez belki na słupy. Natomiast w konstrukcjach słupowo-płytowych obciążenia z płyty są bezpośrednio przekazywane na słupy. Ściany zewnętrzne najczęściej spełniają funkcję ostonową. Do konstrukcji szkieletowych zalicza się również konstrukcje półszkieletowe, zwane również konstrukcjami mieszanymi. W tego typu konstrukcjach ściany zewnętrzne również pracują jako elementy nośne.

Według kryterium charakteru pracy statycznej, tj. określenia schematu statyczno-montażowego, można wyróżnić systemy ramowe zwykłe i systemy ram usztywnionych przez obecność dodatkowego elementu konstrukcji (rys. 2).



Rys. 2.
Układ ramowy usztywniony przez trzon, ściany usztywniające oraz stropy jako membrany usztywniające

Stateczność ram zwykłych może być zapewniona albo przez słup wspornikowy utwierdzony w fundamencie i belki (rygle) pracujące jako stężenie poziome połączone ze słupem przegubowo (rys. 3b), albo – w przypadku ram ciągłych – przez sztywne we wszystkich kierunkach węzły układu nośnego (rys. 3a), przy czym słupy mogą być połączone z fundamentem przegubowo lub w sposób sztywny. Układy ram usztywnionych składają się z tych samych elementów, co ram zwykłych, ale stateczność zapewniona jest przez dodatkowy element usztywniający, np. trzon konstrukcji lub ścianę usztywniającą, lub stężenia (rys. 3c), a słupy mogą być utwierdzone w fundamencie lub połączone z nim przegubowo. Układy usztywniane, szczególnie przez trzony budynku, są często stosowane w przypadku takich obiektów wysokościowych, jak np. biurowce.



Rys. 3.
Typowe schematy statyczne prefabrykowanej konstrukcji szkieletowych

Tab. 1.
Charakterystyka obiektów szkieletowych

Rodzaj obiektu	Charakter obiektu	Przeznaczenie obiektu	Typowy układ nośny
Budynki	Jednokondygnacyjne	Hale magazynowe i przemysłowe	Słupy-rygle
	Wielokondygnacyjne	Biurowe, handlowe, użyteczności publicznej, mieszkaniowe	Słupy-belki-ptyty, słupy-ptyty, rami
Budowle	Wielokondygnacyjne	Parkingi	Słupy-belki-ptyty

Typowy obiekt halowy jednokondygnacyjny może być jedno- bądź wielonawowy, często ze stropem pośrednim w części rzutu (antresola). W takim przypadku możliwe jest dostawienie dodatkowego, niższego słupa wewnątrz obiektu w celu podparcia stropu pośredniego.

Wykonywane dachy są płaskie lub spadziste. Najczęściej zastosowanie znajdują dźwigary belkowe lub trapezowe, jednakże spotyka się także dźwigary o kształtach niekonwencjonalnych. Słupy hal mogą być proste lub wyposażone we wsporniki przystosowane do oparcia belek podsuwnicowych. Podstawą konstrukcji hal jednokondygnacyjnych są ramy portalowe (elementy powtarzalne) złożone z dwóch słupów i opartego na nich dźwigara. W zależności od rozstawu słupów układ ten jest uzupełniany o dodatkowe elementy usztywniające w postaci płatwi (rozstawy słupów do ok. 12 m) oraz belek obwodowych i dźwigara pośredniego (rozstawy słupów powyżej 12 m).

Budynki biurowe, handlowe i użyteczności publicznej to najczęściej obiekty wielokondygnacyjne. Rzut budynków może być prostokątny, a geometria regularna (ułatwienie dla prefabrykacji), jednakże zróżnicowana architektonicznie bryła obiektu nie ogranicza współczesnej prefabrykacji, ze względu na wykorzystywanie nowoczesnych narzędzi projektowania (BIM).

Parkingi prefabrykowane realizuje się jako czysty układ szkieletowy z nieznacznym stopniem ostłonienia ścianami zewnętrznymi. Geometria obiektu zazwyczaj jest ortogonalna. Dzięki zastosowaniu prefabrykatów sprężonych uzyskuje się duży rozstaw słupów, co ułatwia użytkowanie.

Szczegółowe rozważania zawarte w dalszych rozdziałach odnoszą się przede wszystkim do obiektów przemysłowych, które dominują wśród realizacji prefabrykowanej konstrukcji szkieletowych. Korzystanie z takiego rozwiązania w biurach i budownictwie mieszkalnym jest mniej powszechne.

2.2. Wymagania materiałowo-użytkowe

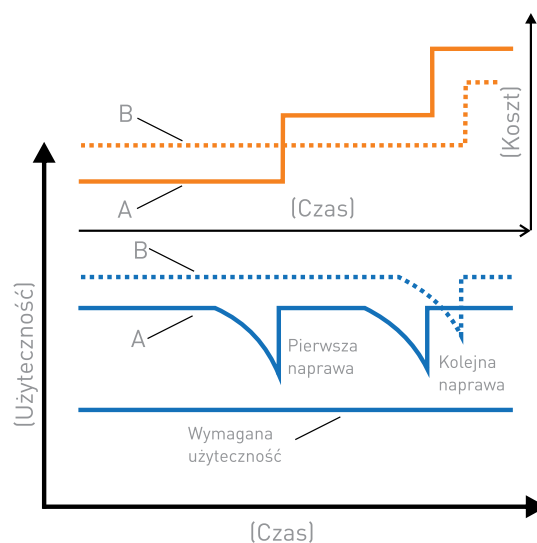
Wymagania wobec obiektu budowlanego formułuje prawo budowlane. Ich zakres dotyczy:

- nośności i stateczności,
- bezpieczeństwa pożarowego,
- higieny, zdrowia i ochrony środowiska,
- bezpieczeństwa użytkowania,
- ochrony przed hałasem i drganiami,
- oszczędności energii i izolacyjności termicznej,
- zgodności z zasadami zrównoważonego rozwoju.

Obiekty prefabrykowane spełniają te wymagania. Dodatkowe wymagania – w zakresie ekonomiki kosztów, łatwości montażu oraz wygody użytkowania – stawiają inwestorzy, wykonawcy oraz użytkownicy. W przypadku prefabrykowanej konstrukcji szkieletowych użytkownicy oczekują m.in. swobody w planowaniu przestrzeni, natomiast inwestorom zależy na możliwości łatwej adaptacji konstrukcji w przypadku zmiany funkcji obiektu.

2.2.1. Trwałość betonowych elementów prefabrykowanych

Zapewnienie wysokiej trwałości betonowych konstrukcji jest kluczem do utrzymania wymaganej użyteczności obiektu w zakładanym okresie jego eksploatacji. Całkowite koszty związane z zapewnieniem wymaganego poziomu użyteczności obiektu związane są z nakładami na czynności utrzymania (w tym naprawy bieżące) oraz nakładami początkowymi. Szczególnie istotna w tym kontekście jest rola nakładów początkowych, na które składają się: dobór rozwiązań projektowych oraz materiałowych. W przypadku zwiększenia nakładów początkowych, w celu uzyskania optymalnego rozwiązania dla danych warunków eksploatacji, można spodziewać się obniżonych kosztów bieżących utrzymania w założonym okresie eksploatacji (rys. 4).



Rys. 4.
Użyteczność oraz koszt eksploatacji konstrukcji w czasie w odniesieniu do konstrukcji o normalnej (A) i zwiększonej (B) trwałości

Trwałość konstrukcji wg Eurokodu 0 stanowi – obok nośności i użytkowalności – jedno z trzech podstawowych założeń w procesie jej projektowania i w istotny sposób wpływa na przyjęte rozwiązania konstrukcyjne i materiałowe. Zgodnie z Eurokodem 2 trwałość obiektu jest zachowana, jeżeli w założonym czasie konstrukcja spełnia swoje funkcje w zakresie użytkowalności (stany graniczne związane z ograniczeniem naprężeń, rys i ugięć), nośności i stateczności (stany graniczne nośności). Prawidłowe zaprojektowanie konstrukcji jest warunkiem spełnienia wymagań użytkowych co najmniej

przez okres oczekiwanej trwałości. W rzeczywistości czas trwałości wzniesionej konstrukcji jest jednak obarczony istotnym poziomem niepewności, wynikającym z jednej strony z ewentualnych wad projektowych, wykonawczych i materiałowych, a z drugiej – z ograniczonej przewidywalności oddziaływań związanych z warunkami użytkowania.

Wymagana trwałość w wielu przypadkach znacznie przekracza 50 lat, który to okres przyjmowany jest wg PN-EN 206-1 jako podstawowy okres trwałości betonu, zapewniony w przypadku spełnienia wymagań co do składu i składników podanych w tej normie w odniesieniu do poszczególnych klas ekspozycji betonu. Warto zauważyć, że w przypadku prefabrykatów, zwłaszcza prętowych, zaostżone wymagania i kontrola jakości odnoszą się do zawartości jonów chlorkowych oraz ograniczeń związanych z zagrożeniem reakcją ASR/ACR, szczególnie w przypadkach elementów sprężonych lub poddawanych obróbce cieplnej.

Kształtowanie trwałości elementów z betonu obejmuje działania podejmowane na wszystkich etapach ich powstawania, w tym na etapie wymiarowania konstrukcji, doboru, produkcji i dostaw materiałów, a także technologii wznoszenia obiektu.

Kluczowym etapem projektowania elementu z betonu z uwagi na trwałość jest dobór grubości otuliny. Dobór ten uwzględnia warunki środowiskowe eksploatacji (klasę ekspozycji), a także warunki przyczepności betonu do zbrojenia i warunki odporności ogniowej elementu.

Klasa ekspozycji wynika z charakterystyki środowiska eksploatacji, przy czym praktycznie każdy element z betonu, nieostonięty powierzchniowo innym materiałem, narażony jest na karbonatyzację (klasy ekspozycji XC), a w przypadku elementów wbudowanych na zewnątrz – także na destrukcję mrozową (klasy ekspozycji XF). Tok postępowania przy doborze otuliny z uwagi na trwałość przedstawiono, analizując przypadek elementu przeznaczonego do eksploatacji w klasach XC. Ustalenie klasy (kategorii) konstrukcji (tab. 2) i rodzaju zbrojenia (żelbet, element sprężony) pozwala określić wartość minimalnej grubości otuliny z uwagi na trwałość $c_{min,dur}$ w przyjętej klasie ekspozycji (tab. 3). Dalszy schemat postępowania przy doborze otuliny zarówno z uwagi na klasę ekspozycji, jak i przyczepność przedstawia tab. 4. Warto zauważyć, że jest on uniwersalny i dotyczy zarówno elementów wykonywanych w technologii monolitycznej, jak i prefabrykowanej.

Tab. 2. Ustalanie klasy konstrukcji wg EC0 i EC2 z uwzględnieniem specyficznych wymagań ekspozycji betonu dla klas XC

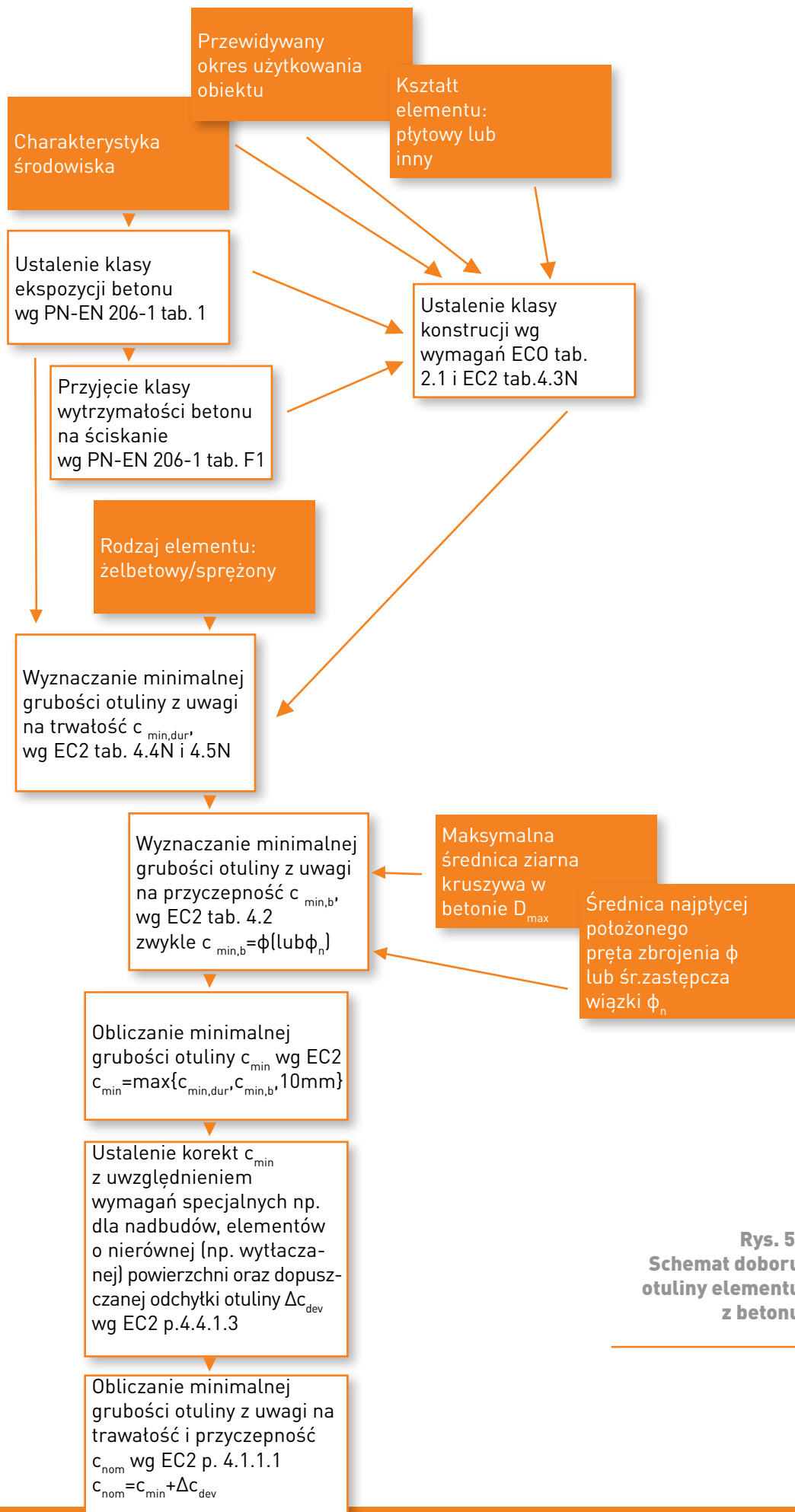
Przewidywany okres użytkowania	Przykład	Klasa (kategoria) konstrukcji stanowiąca podstawę ustalenia minimalnej otuliny wg tabeli 1.9.
do 10 lat	Konstrukcje tymczasowe	S1
10-25 lat	Części wymienne konstrukcji	S2
15-30 lat	Konstrukcje rolnicze i podobne	S3
50 lat	Budynki i inne zwykłe konstrukcje	S4
100 lat	Budynki monumentalne, mosty i inne konstr. inżynierskie	S5
Ponad 100 lat	Konstrukcje specjalne	S6

Korekta klasy konstrukcji S4 z uwagi na:				
Klasa ekspozycji betonu	Wysoką klasę Wytrzymałości betonu	Płytowy kształt elementu	Specjalną kontrolę wytrzymałości	Okres użytkowania ponad 100 lat
XC1	Jeśli \geq C30/37 to S4 - 1	S4 - 1	S4 - 1	+ 2
XC2 i XC3	Jeśli \geq C35/45 to S4 - 1			
XC 4	Jeśli \geq C40/50 to S4 - 1			
				S4 + 2 = S6

Tab. 3. Minimalna wymagana grubość otuliny z uwagi na trwałość ($c_{\min, \text{dur}}$, mm) w konstrukcjach z betonu narażonych na korozję spowodowaną karbonatyzacją

Klasa konstrukcji	Minimalna grubość otuliny $c_{\min, \text{dur}}$ (mm) w klasie ekspozycji					
	XC1		XC2 i XC3		XC4	
	Rodzaj konstrukcji:					
	żelbetowa	sprężona	żelbetowa	sprężona	żelbetowa	sprężona
S1	10	15	10	20	15	25
S2	10	15	15	25	20	30
S3	10	20	20	30	25	35
S4	15	25	25	35	30	40
S5	20	30	30	40	35	45
S6	25	35	35	45	40	50





Rys. 5.
Schemat doboru otuliny elementu z betonu

Przechodząc od fazy kształtowania trwałości do oceny trwałości uzyskanej, należy uzupełnić listę czynników wpływających na trwałość o niepewność wynikającą z rzeczywistego przebiegu eksploatacji, w tym z poziomu wyężenia, faktycznej charakterystyki środowiska, zabiegów utrzymania, a także napraw i remontów oraz zdarzeń ekstremalnych.

Kluczowym etapem kształtowania trwałości jest wymiarowanie konstrukcji, które w kontekście trwałości obejmuje ochronę konstrukcyjną, materiałowo-strukturalną i powierzchniową. Działania te powinny być podejmowane łącznie, zgodnie z zasadą ochrony wielostopniowej.

warunków atmosferycznych oraz agresywnego środowiska zewnętrznego na szkielet nośny przez elementy ostonowe. Wyjątek stanowią obiekty przemysłowe, które charakteryzują się produkcją agresywnych substancji chemicznych, oraz otwarte parkingi. W przypadku tych ostatnich uwagę zwraca fakt, że powierzchnia dostępu środowiska agresywnego do powierzchni elementów prętowych jest relatywnie duża w stosunku do ich przekroju nośnego – większa niż w przypadku elementów układu ścianowego. Wymaga to uwzględnienia złożonej kombinacji klas ekspozycji w toku projektowania i wynikających z tego zaostrzonych wymagań.



Rys. 6.
Kształtowanie
trwałości obiektu
z betonu

**Zadziwiająca, że składniki
dobrego i złego betonu
są dokładnie takie same...**

A.M. Neville

Ochrona konstrukcyjna dotyczy przede wszystkim właściwego doboru otuliny i obliczeniowej szerokości rysy w konstrukcji. W aspekcie wymagań konstrukcyjnych możliwe jest uwzględnienie podczas wymiarowania projektowanego okresu użytkowania i dobór grubości otuliny, która zależy od klasy (kategorii) konstrukcji, a więc od założonej trwałości. Szerokość maksymalna rysy obliczeniowej nie wynika natomiast (wg Eurokodów) z projektowanego okresu użytkowania. W konstrukcji prefabrykowanej trwałość złączy i ich odporność na oddziaływanie zewnętrznie (w tym ogniowe) powinna być taka sama, jak łączonych elementów. Cechą szczególną konstrukcji prętowych jest ograniczenie wpływu

Ochrona materiałowo-strukturalna, jako element kształtowania trwałości konstrukcji z betonu w zakresie podstawowym, uregulowana jest postanowieniami normy PN-EN 206, w której – w odniesieniu do klas ekspozycji betonu – sformułowane są ograniczenia dotyczące doboru jakościowego i ilościowego składu betonu. Dotyczą one zalecanych rodzajów i odmian cementów, minimalnej klasy wytrzymałości na ściskanie, maksymalnego wskaźnika woda–cement oraz minimalnej zawartości masy cementu w betonie. W przypadku środowisk z grupy XF dodatkowy warunek dotyczy właściwego napowietrzenia mieszanki betonowej. Spełnienie wymagań normy PN-EN 206, wynikających z klas ekspozycji, zapewnia trwałość betonu nie mniejszą niż 50 lat.

Tab. 4.
Działania zwiększające trwałość konstrukcji z betonu

Grupa działań	Rodzaj działań	Przykładowe rozwiązania	Uwagi
Ochrona konstrukcyjna	Zindywidualizowanie kształtu elementu oraz otuliny zbrojenia	Kształt eliminujący gromadzenie wody i powstawanie zastoin, optymalizacja kształtu pod względem koncentracji naprężeń, zwiększanie grubości otuliny	Kwestia spadków i drenażu, wzmacnianie nieeliminowanych miejsc koncentracji naprężeń, problem skurczu otuliny, otulina złączy
Ochrona materiałowo-strukturalna	Niekonwencjonalne modyfikacje betonu	Betony wysokowytrzymałe, betony samozagęszczalne, inne betony nowej generacji	Zaostrzona kontrola czynności technologicznych, w szczególności pielęgnacji
Ochrona powierzchniowa	Zastosowanie powłok, impregnatów, wypraw, wykładzin	Hydrofobizacja, wypełnianie porów powierzchniowych, powłoki cementowo-poli-merowe i cementowe	Kwestia przygotowania podłoża, kompatybilność

Ochrona powierzchniowa wiąże się ze zwiększeniem szczelności betonu poprzez nałożenie na jego powierzchnię dodatkowej warstwy – powłoki lub penetrującego w pory impregnatu. Dobór materiału do ochrony powierzchniowej powinien uwzględniać jej podwyższoną odporność na dane środowisko eksploatacji, ale także kompatybilność z podłożem betonowym. Z reguły ten sposób zwiększania trwałości zaleca się w naprawach i remontach istniejących konstrukcji, natomiast w konstrukcjach nowo wznoszonych stosowany jest rzadziej. Ochrona powierzchniowa betonu elementu powinna charakteryzować się dużym oporem dyfuzyjnym względem CO₂, wodoszczelnością, ale jednocześnie przepuszczalnością pary wodnej, rysoodpornością i elastycznością zapewniającą mostkowanie rys o zmieniającej się w pewnych granicach szerokości, dobrą przyczepnością do betonowego podłoża oraz odpornością na czynniki środowiskowe i starzenie.

Impregnaty to materiały wnikające w pory i poprawiające jakość strefy powierzchniowej betonu (emulsje wodne żywic epoksydowych i poliestrowych) lub materiały hydrofobizujące, które nie zmieniają struktury porowatości, a jedynie zmniejszają nasiąkliwość (silikony).

2.2.2. 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 wynika-

jące z ochrony przeciwpożarowej budynków formułowane są w oparciu o takie uwarunkowania, jak: przeznaczenie budynku, 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. Projektowanie ze względu na bezpieczeństwo pożarowe powinno zaczynać się już od doboru składu i składników betonu. Zachowanie betonu w warunkach pożarowych zależy bowiem od jakościowej i ilościowej charakterystyki składu betonu. Jako szczególnie istotny należy wskazać wpływ rodzaju kruszywa grubego – kruszywa lekkie sztuczne oraz kruszywa węglanowe pozwalają ograniczyć spadek wytrzymałości betonu związanej z niszczącym wpływem temperatury nawet w przypadku oddziaływania temperatury do ok. 600°C, podczas gdy betony z typowym kruszywem krzemionkowym wykazują istotny spadek wytrzymałości już powyżej 350°C. W zakresie charakterystyki ilościowej składu najistotniejszy jest wpływ wskaźnika w/c. Optimum wartości tego wskaźnika odpowiada betonom o wytrzymałości 60-70 MPa. W przypadku betonów o wyższej wytrzymałości znacząco rośnie ryzyko *spallingu*, które jednak może być ograniczone zastosowaniem zbrojenia rozproszonego z włókien z tworzyw sztucznych.

Betonowe obiekty mogą spełniać najostrzejsze wymagania w zakresie ochrony przeciwpożarowej pod warunkiem, że zostaną uwzględnione na etapie projektowania prefabrykatów i całego obiektu. Elementy prętowe (w szczególności słupy, belki) ulegają wydłużeniom liniowym, w największym stopniu w kierunku najdłuższego wymiaru. W przypadku gdy wydłużający się

wskutek oddziaływania temperatury element napotka ograniczenie przemieszczenia, powstają dodatkowe siły w konstrukcji, co zmienia jej schemat statyczny. Jednym z efektów tych oddziaływań jest powstawanie sił, które mogą rozpychać sąsiednie elementy, z którymi połączone są węzłami. W zasadzie należy uznać, że każdy rodzaj połączenia słup–belka jest z punktu widzenia mechaniki ograniczony w odkształceniach i podczas projektowania prefabrykowanych konstrukcji prętowych na oddziaływania ogniowe musi to zostać uwzględnione. Charakterystyka przeznaczenia obiektów o konstrukcji szkieletowej w nawiązaniu do *Rozporządzenia Ministra Infrastruktury z dnia 12 kwietnia 2002 r. w sprawie warunków technicznych, jakim powinny odpowiadać budynki i ich usytuowanie* (Dz.U. 2002, nr 75 poz. 690) prowadzi do wniosku, że zwykle są to obiekty o wymaganej wysokiej klasie odporności pożarowej B lub A (głównie budynki klas ZL I i PM o wysokiej gęstości obciążenia ogniowego strefy pożarowej Q_p). Konstrukcje nośna żelbetowa stosowana jest w szczególności przy wymaganych wysokich klasach odporności ogniowej układu nośnego, tj. minimum R 120 minut. Prefabrykowane elementy, które są właściwie zaprojektowane i wykonane, mogą osiągnąć ognioodporność do REI 240 minut.

Ważnym aspektem działań przeciwpożarowych jest podział na klasy odporności ogniowej obiektów. Przede wszystkim dlatego, że dzięki temu 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. Badania laboratoryjne potwierdzają stosunkowo dużą odporność betonu na działanie ognia w porównaniu do innych materiałów konstrukcyjnych. Co więcej, usuwanie skutków pożaru w obiekcie zbudowanym z elementów prefabrykowanych wiąże się często jedynie z drobnymi naprawami. Zapewnienie ochrony przeciwpożarowej w konstrukcjach żelbetowych jedynie nieznacznie zwiększa koszty realizacji obiektu, ponieważ prefabrykaty z betonu nie wymagają stosowania specjalnych powłokowych środków, mają-

cych na celu zabezpieczenie konstrukcji przed pożarem. Przy użyciu innych rozwiązań materiałowych konstrukcji (stal, drewno) ochrona przeciwpożarowa stanowi znaczącą pozycję w całkowitych kosztach realizacji obiektu.

2.2.3. Wymagania z zakresu fizyki budowli

Podstawowe wymagania z zakresu fizyki budowli to izolacyjność termiczna i akustyczna przegród. Kryteria te w wysokim stopniu zależą od rozwiązań materiałowo-konstrukcyjnych budynku. Inne zagadnienia fizyki budowli to np. kwestia wentylacji w obiekcie. Problematyka fizyki budowli w małym stopniu wiąże się z układem nośnym obiektów o konstrukcji szkieletowej, a dotyczy głównie przegród ostonowych obiektu. Systemy prefabrykacji oferują rozwiązania łączące w sobie zarówno odpowiedni współczynnik λ prefabrykatu ściennego, jak i właściwe ukształtowanie złączy w systemowy sposób, który eliminuje mostki termiczne. Dodatkowo możliwość przypadkowego powstania mostków termicznych jest ograniczona do minimum, dzięki brakowi możliwości montażu prefabrykatów w inny sposób niż systemowy, przewidziany w projekcie technicznym.

Zagadnienia fizyki budowli w zakresie izolacyjności akustycznej również nie dotyczą w wysokim stopniu szkieletu nośnego konstrukcji. Ochrona przed hałasem z zewnątrz realizowana jest za pomocą ścian zewnętrznych i pozwala uzyskać wymagany niski poziom hałasu we wnętrzu budynku – na poziomie 30 dB względem minimalnych 70 dB w typowych warunkach panujących na zewnątrz. Prefabrykacja ma pewną przewagę nad technologią monolityczną, ponieważ konstrukcje prefabrykowane żelbetowe łączy się przegubowo z zastosowaniem podkładek elastomerowych (fot. 1 i fot. 2), które również ograniczają przenoszenie dźwięków. Także prefabrykowane elementy klatek schodowych ułożone na podkładkach tłumiących drgania zapobiegają przenoszeniu dźwięków na konstrukcję budynku, co daje większy komfort akustyczny w stosunku do konstrukcji monolitycznych



Fot. 1.
Podkładki elastomerowe
stosowane w połączeniach
elementów prefabrykowanych



Fot. 2.
Ułożenie podkładek elastomerowych w trakcie montażu elementów

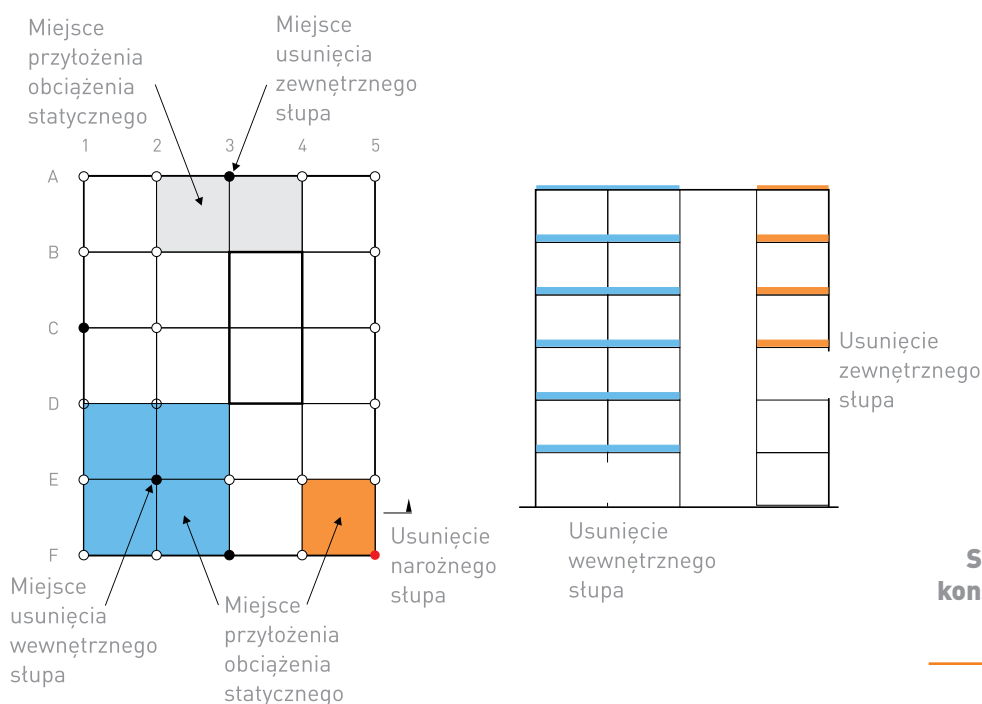


2.2.4. Stany wyjątkowe

Stany wyjątkowe to sytuacje, kiedy na konstrukcję oddziałują siły inne niż obciążenia użytkowe i ciężar własny. Takie obciążenia mogą wystąpić w sytuacji: nadmiernego lub nierównomiernego osiadania obiektu, wybuchu wewnątrz czy na zewnątrz obiektu, oddziaływania żywiołów, kolizji z pojazdem, statkiem powietrznym lub wodnym (rys. 7).

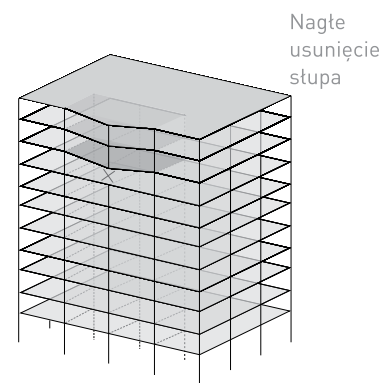
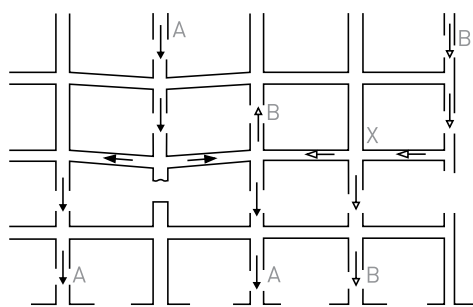
Przy tego typu zdarzeniach kwestią kluczową jest zachowanie integralności konstrukcji co najmniej do czasu ewakuacji ludzi. Stateczność prefabrykowanej konstrukcji szkieletowej zapewniają połączenia między

elementami. W sytuacji wyjątkowego obciążenia może dojść do zmniejszenia zdolności elementu lub węzła do przenoszenia obciążeń. W takim wypadku zachowanie integralności konstrukcji wymaga, aby obciążenia te mogły zostać rozdystrybuowane na inne elementy układu (rys. 8). Konstrukcje prefabrykowane projektowane są w taki sposób, że stosunkowo łatwo jest przewidzieć i zaplanować awaryjne scenariusze redystrybucji sił w sytuacji wyjątkowej, w której zachodzi utrata nośności pojedynczego elementu lub nawet sekcji konstrukcji.



Rys. 7.
Scenariusze awaryjne konstrukcji szkieletowej

Rys. 8.
Redystrybucja
sił w układzie
podczas awarii



Jako sytuację wyjątkową można także potraktować zdarzenie sejsmiczne występujące na terenach górniczych. Tego rodzaju zagrożenie nie wyklucza możliwości wznieszenia prefabrykowanej konstrukcji szkieletowych, ale obowiązują wtedy dodatkowe zasady i zalecenia konstrukcyjne.

PREFABRYKOWANE ELEMENTY NOŚNE OBIEKTÓW SZKIELETOWYCH

Obiekty przemysłowe pełniące skomplikowane funkcje technologiczne wymagają na ogół zastosowania różnorodnych materiałowo rozwiązań konstrukcyjnych i wprowadzania na ich styku prostych montażowo i skutecznych użytkowo połączeń. Nawet w najprostszych konstrukcjach, a obecnie często wykonywanych obiektach, takich jak hale magazynowe czy centra logistyczne bez suwnic i skomplikowanych instalacji, optymalny zakres prefabrykacji żelbetowej nie obejmuje na ogół pokryć, stężeń i ścian (z wyjątkiem podwalin czy doków przetadunkowych). W rozdziale omówiono podstawowe elementy konstrukcyjne obiektów, zakres zastosowań prefabrykacji żelbetowej i technologię produkcji w kolejności odpowiadającej zbieraniu obciążeń w obliczeniach statycznych, czyli poczynając od dachu, a na fundamentach kończąc. W formie tabelarycznej – w odniesieniu do poziomych elementów konstrukcji – podano zależność pomiędzy typem i wysokością przekroju a rozpiętością elementu (belki, dźwigara, płyty), uwzględniając przeciętne obciążenia pozwalające na wstępne określenie potrzebnej wysokości przekroju na etapie założeń projektowych. Dalsze kroki uściślające przebieg doboru elementów prefabrykowanych przedstawiono w rozdziale 4.6.

3.1. Pokrycie dachu

Pokrycia obiektów szkieletowych z prefabrykowanych, tradycyjnie zbrojonych, cienkościennych płyt korytkowych otwartych i zamkniętych (o długości do 330 cm i wysokości 10 cm) oraz panwiowych (o długości do 600 cm i wysokości 24 cm) zostały obecnie wyparte przez pokrycia z blach trapezowych. Ich zaletą jest lekkość pozwalająca na montaż z ograniczonym użyciem żurawia oraz możliwość stosowania dużych długości arkuszy w schematach wieloprzęstowych. Szczegóły połączenia z prefabrykatami żelbetowej konstrukcji dachu podano w *rozdziale 4.5.1*. Jednak w miarę wzrostu normowych obciążeń śniegowych, wymogów pożarowych, tendencji

do lokalizowania na dachach coraz większej ilości urządzeń technologicznych oraz mody na dachy z zielenią pokrycia z prefabrykatów żelbetowych wracają do łask, ale w wersji płyt sprężonych.

W sytuacjach gdy obciążenia potacji dachowej są duże i wymagana jest wysoka odporność ogniowa bądź środowiskowa, a także w obiektach, gdzie wymagana jest gładkość powierzchni dolnej stropodachu (np. przemysłu spożywczego, farmaceutycznego lub gdzie istnieje zagrożenie wybuchem pyłowym oraz ze względów architektonicznych), stosowane są **kanalowe płyty sprężone HC** (zazwyczaj o wysokości 150 lub 200 mm), natomiast dla większych rozpiętości podparć na dźwigarach powyżej 12 m – **płyty sprężone dwużebrowe typu TT**, podobnie jak w stropach międzykondygnacyjnych. Rozwiązanie w postaci płyt TT jest szczególnie przydatne przy znacznej ilości urządzeń technologicznych na dachu i dużej ilości przejść instalacyjnych przez dach. Szersze omówienie płyt HC oraz TT w rozdziałach 3.3.2.3 i 3.3.2.4.

Typowe dane materiałowe płyt korytkowych
Beton: C 30/37. **Stal:** B500B(A). **Wykończenie powierzchni:** spód i boki powierzchnia „od formy”, góra – zacierana na ostro.

3.2. Konstrukcja nośna przekrycia

Prefabrykacja **konstrukcji nośnej przekrycia** dla obiektów szkieletowych obejmuje **elementy belkowe**. Oferowane są dwa podstawowe rozwiązania: 1) w formie **płatwiowej**, gdzie płatwie prostopadłe do spadku dachu opierają się na dźwigarach (fot. 3) – rozwiązanie to pozwala na niezależne od siatki stópów projektowanie rozstawu podparć pokrycia dachowego (np. zagęszczenie płatwi w rejonie worków śnieżnych czy urządzeń technologicznych); 2) oraz **bezpłatwiowej**, gdzie **dźwigary** montuje się w rozstawie odpowiadającym rozpiętości pokrycia – konstrukcje te są szczególnie korzystne przy powtarzalnej siatce stópów (fot. 4).

Fot. 3.
Konstrukcja dachu
płatwiowego
z pokryciem blachą
trapezową.
Widoczne stężenia
połaciowe



Fot. 4.
Konstrukcja dachu
bezpłatwiowego.
Widoczne wymiany
i dźwigiary
dwuspadowe

3.1.2. Dźwigary dachowe

Dźwigary są to elementy główne konstrukcji dachu, oparte na słupach i stanowiące układ stężący je w kierunku poziomym oraz podparcie dla elementów konstrukcji pokrycia dachu, w tym także płatwi w dachach płatwiowych. Najczęściej stosowany jest przekrój dwuteowy, w odróżnieniu od konstrukcji stalowych zazwyczaj o zróżnicowanej geometrii pasa górnego i dolnego. Ściskany pas górny ma na ogół większe pole przekroju i często większą szerokość zapobiegającą poprzecznym wybočeniom, zwłaszcza gdy pokrycie nie tworzy tarczy sztywnej. Zgodnie z zaleceniem normowym szerokość dźwigara (pasa górnego) nie powinna być mniejsza niż $1/60$ rozpiętości. Przekrój pasa dolnego dyktowany jest przez ilość cięgien sprężających i musi zapewnić normowe warunki ich rozstawu i otulenia. Dla zapewnienia prawidłowego wypełnienia betonem i jego odpowietrzenia skos między pasem dolnym a środnikiem powinien być zbliżony do 45° . Drugim czynnikiem decydującym o szerokości pasa dolnego jest powierzchnia oparcia dźwigara na podporze i konieczność zmieszczenia w obrębie podparcia gniazd lub trzpieni kotwiących. Grubość środ-

nika zależy od wymaganego otulenia oraz wysokości dźwigara i wynosi na ogół 120-150 mm. Przy małych wysokościach dźwigara oraz wyższych, ale z zastosowaniem żeber usztywniających, łączyjących pas górny z dolnym, można zmniejszyć grubość środnika do 80 mm. Oparcie na podporze musi, oprócz przeniesienia obciążeń, zapewnić sztywność na momenty skręcające. W kierunku podłużnym kształt dźwigara może być bezspadowy (równoległe pasy dolny i górny), jednospadowy lub dwuspadowy. Szczegóły oparcia dźwigarów na słupach i ścianach przedstawiono w rozdziale 4.5.3.

3.1.2.1. Dźwigary o pasach równoległych

W zastosowaniu dachowym dźwigary o stałej wysokości (tabl. 6) stosuje się w nawach jednospadowych, układając dźwigar wzdłuż kierunku spadku, odpowiednio podcinając powierzchnie podparcia tak, aby połączenie wypadło w poziomie. Ich zaletą jest możliwość zrealizowania dowolnego spadku dachu i łatwość produkcji, wadą – brak poziomego pasa dolnego, co utrudnia podwieszanie urządzeń, i nie zawsze akceptowalny wygląd pomieszczeń.

Tabl. 6. Dźwigar dwuspadowy: przekroje i zakres stosowania

Widok i przekroje		Wysokość przekroju [mm]	ROZPIĘTOŚĆ [m]																
			5	10	15	20	25	30	35										
DŹWIGARY O PASACH RÓWNOLEGŁYCH		700																	
		800																	
		900																	
		1000																	
		1200																	
		1400																	
		1600																	
1800																			
2000																			



3.1.2.4. Wymiany

Bardzo popularnym rozwiązaniem hal wielonawowych jest zastosowanie dwukrotnie większego rozstawu słupów wewnętrznych od zewnętrznych, których najczęstszy rozstaw (6-8 m) podyktowany jest optymalną rozpiętością ścian osłonowych. Tak gęsty rozstaw słupów wewnętrznych mógłby obniżyć wartość użytkową wnętrza, ale tak się nie dzieje, dzięki zastosowaniu belek, tzw. wymianów, na których opiera się co drugi dźwigar. Są to belki o stałej wysokości i rozpiętości do 20 m (fot. 5). Jeżeli wysokość obiektu na to pozwala, to najkorzystniejsze jest oparcie dźwigarów na górnej półce wymianu, co zmniejsza problemy z momentem skręcającym od jednostronnego obciążenia w trakcie montażu. Jeżeli nie ma takiej możliwości, to dźwigary opiera się na specjalnie wyprowadzonych wspornikach w środku rozpiętości.

Fot. 5.
Wymian z wspornikami
w środku rozpiętości



Należy pamiętać o wzmocnieniu zbrojenia „wieszakami” dla uniknięcia skutków przyłożenia obciążenia punktowego w dolnej części przekroju. Zawsze w takim przypadku w rejonie wsporników stosuje się prostokątny przekrój wymianu.

Występujący podczas montażu (przy jednostronnym obciążeniu) moment skręcający musi być przeniesiony na słupy odpowiednio zaprojektowanym połączeniem (szczegóły – rozdział 4.5.3).

Fot. 6.
Wymian do zespo-
lenia z płytą stropową.
Widoczne zagęszczenie
strzemion i zwiększe-
nie średnic w rejonie
wsporników



Tabl. 9. Przekroje i zakres stosowania wymianów

Widok i przekroje		Wysokość przekroju [mm]	ROZPIĘTOŚĆ [m]									
			5	10	15	20	25	30	35			
WYMIAN		900		■	■	■						
		1000		■	■	■	■					
		1100			■	■	■	■				
		1200				■	■	■	■			
		1400					■	■	■	■		
		1500						■	■	■	■	
		Uwaga: wymiany o rozpiętościach poniżej 10m do stosowania jako belki drugorzędne przy otworach . dobór wysokości z tabel i wykresów producentów										

Fot. 7.
Dźwigary dwuspadowe
oparte na słupach
i wspornikach
wymianów



3.2. Stupy

Stupy to, zgodnie z definicją zawartą w normie PN-EN 13225, prętowe pionowe elementy nośne, pracujące głównie na ściskanie. Stosowane są jako pionowe, nośne elementy konstrukcji szkieletowych i mieszanych w obiektach handlowych, halach przemysłowych, budynkach użyteczności publicznej i mieszkalnych.

Stupy **obiektów halowych** różnicuje się w zależności od przeznaczenia obiektu i przeznaczenia stópów. Ze względu na funkcję stupy dzielimy na główne i elewacyjne.

Stupy główne – stanowią wraz z dźwigarami element podstawowego układu statycznego, są najczęściej projektowane jako utwierdzone dołem w stopie fundamentowej i przegubowo nieprzesuwnie obciążone oddziaływaniem dźwigara dachowego. Połączenia utwierdzone z dźwigarem (układ stanowiący ramę) stosuje się rzadziej. Stupy w zależności od stopnia skomplikowania obiektu mogą przejmować obciążenie od suwnic, stropów pośrednich i urządzeń technologicznych. Mogą mieć zmienny przekrój, a w celu przejścia ww. obciążeń są wyposażone we wsporniki, zatopione marki i inne systemowe akcesoria.

Stupy elewacyjne – to stupy, dla których głównymi obciążeniami są ściana zewnętrzna i oddziałujący na nią wiatr. Przekrój stupa pracuje głównie na zginanie. Stupy takie występują w ścianach szczytowych i ścianach podłużnych w układach z dachami płaskimi jako dogęszczenie pod elewację pomiędzy słupami głównymi. Stupy o wysokości hali (z reguły ponad 10 m) nie wymagają dużego przekroju, ale pro-

blemem jest obciążenie wiatrem. W przypadku zaprojektowania stupa wolnostojącego wielkości stóp są porównywalne do stóp pod stupy główne, dlatego najczęściej projektuje się stupy wolnostojące w fazie montażowej i przegubowo-przesuwnie w pionie w docelowym schemacie statycznym. Mocowane są górną do dźwigara (w schematach bezpłatniowych do belki krawędziowej opartej na słupach głównych) na ścianach podłużnych lub połączone górną krótkimi belkami krawędziowymi w płaszczyźnie ściany i płatwiami w kierunku prostopadłym. Takie rodzaje mocowania powodują konieczność wstrzymania się z wykonaniem obudowy ścianowej do momentu stężenia potaci dachowej w schemat zdolny do przeniesienia obciążeń wiatrowych. W tej kategorii stópów, ze względu na smukłość i dla uniknięcia konieczności dozbrajania w czasie fazy transportowo-montażowej, optymalne może być zastosowanie zbrojenia sprężającego w miejsce lub jako uzupełnienie zbrojenia pasywnego. Prefabrykacja umożliwia wybór wielkości stópów **w budownictwie wielokondygnacyjnym**. Stupy można projektować jako wielokondygnacyjne, z oparciem stropów pośrednich na wspornikach, lub jednokondygnacyjne. Stupy wielokondygnacyjne zmniejszają koszt konstrukcji (mniej złączy i elementów montażowych), ale wymagają stabilizacji montażowej (utwierdzenia w podstawie) do czasu usztywnienia stropami i ścianami, co w praktyce ogranicza ich stosowanie do stópów posadowionych bezpośrednio na stopie (płyty fundamentowej).



Fot. 8.

Stup dwukondygnacyjny – montaż na fundamencie na łączniki słupowe skręcane. Belki stropu pośredniego oparte na wspornikach, trzeci wspornik dla oparcia płyt stropowych bezpośrednio na słupie

Stupy jednokondygnacyjne mogą mieć wysokość kondygnacji w świetle między stropami, co stwarza możliwość wyeliminowania wsporników pod stropy i wykonania stropów w schematach wieloprzęstowych, ale kosztem spowolnienia montażu (montaż stópów następnej kondygnacji po kompletnym zabetonowaniu stropu), lub wysokość kondygnacji „brutto”, z oparciem stropów na wspornikach, w prostych schematach statycznych. Korzyścią jest możliwość montażu następnej kondygnacji niezależnie od robót

monolitycznych na stropie. W praktyce, dla zapewnienia sztywności montażowej, najczęściej wykonuje się usztywnienie tarczy stropowej poprzez zabetonowanie złącz między płytowych i wieńców bezpośrednio po montażu stropów, a nadbetony wykonuje się później, w terminach niezależnych od montażu.

Najczęściej stosowane kształty przekroju stópów to: kwadratowe, prostokątne, okrągłe, wieloboczne lub dwuteowe.



Fot. 9.

Stupy jednokondygnacyjne, dołem wyposażone w łączniki słupowe skręcane, górą nagwintowane wytyki (startery) na grubość konstrukcji stropu plus połączenie skręcane z słupem wyższej kondygnacji. W krótkich słupach możliwe umieszczenie haków transportowo-montażowych w podstawie i głowicy słupa



Fot. 10.
Głowica słupa pod konstrukcję stalową. Na boku widoczny wypust instalacji odgromowej i otwór na trzpień montażowy

3.2.1. Słupy o przekroju prostokątnym

Przy obciążeniu osiowym najczęściej stosowany jest przekrój kwadratowy o długości boku od 300 mm, wzrastającej co 50 mm (300, 350, 400, 450...). W większości przypadków występuje różnica wielkości obciążenia mimośrodem (momentem) w stosunku do osi symetrii przekroju, przez co preferuje się stosowanie przekrojów prostokątnych, mieszczących się w proporcji długości boków pomiędzy 1/1 a 1/2. Wymiary długości i szerokości przekroju dobierane są w module również co 50 mm. Przekrój prostokątny jest korzystny ze względu na to, że produkcja i transport słupa odbywa się w pozycji poziomej (praca elementu jak belki zginanej obciążonej ciężarem własnym podczas rozformowania, składowania i transportu oraz przy podnoszeniu do pozycji montażowej). Wysokości i zależności wymiarowe słupów prefabrykowanych są ograniczone warunkami normowymi w zakresie smukłości oraz warunkami transportowymi – wytrzymałość na zginanie z uwzględnieniem współczynnika dynamicznego [2,0!]. W przypadku smukłych słupów warunki transportowe mogą decydować o stopniu zbrojenia lub konieczności zastosowania zbrojenia sprężającego.

3.2.2. Słupy o przekroju okrągłym

W konstrukcjach prefabrykowanych przekrój okrągły stosowany jest wyłącznie z powodów architektonicznych (w odróżnieniu od konstrukcji monolitycznych, gdzie może mieć uzasadnienie konstrukcyjne). Słupy o wysokości do 4500 mm mogą być produkowane w pionie (w pozycji wbudowania) w szalunku kartonowym (jednorazowym) lub stalowym – skręcanym, wielokrotnego użycia. Transport odbywa się w pozycji poziomej. Haki transportowe mogą być zlokalizowane w podstawie i głowicy słupa. Należy unikać rozmieszczania wsporników, marek i akcesoriów na powierzchni słupa, z wyjątkiem głowicy, ze względu na trudności w precyzyjnym osadzeniu i utratę efektu wizualnego. Słupy o wysokości ponad 4500 mm produkowane są w pozycji leżącej (betonowane przez szczelinowy otwór podłużny rury szalunkowej). Okucia, transport i sposób podnoszenia przeprowadzany jest jak dla słupów o przekroju kwadratowym. Ze względu na koszt formy technika ta znajduje uzasadnienie przy produkcji dużych serii jednakowych elementów.



Fot. 11.
Formy do produkcji słupów okrągłych w pozycji pionowej. Widoczne szalunki głowicowe – prostokątne i grzybkowe (a) oraz gotowe elementy (b)

3.2.3. Słupy o przekroju wielobocznym

Stopień komplikacji produkcji jest podobny do produkcji słupów okrągłych o wysokości ponad 4500 mm, ale słupy takie stosowane są rzadko, głównie w przypadku szczególnych wymagań architektonicznych.

3.2.4. Słupy o przekroju dwuteowym

Mają zastosowanie np. przy prefabrykowanych przegrodach ogniowych, gdzie pocienienie przekroju w obszarze środka jest wykorzystane jako „zamek” do zakotwienia ścian. Ponadto rozwiązanie to jest zasadne w przypadkach obciążenia w postaci jednokierunkowego momentu, z mniejszym udziałem sił ściskających.

Typowe dane materiałowe słupów

Beton: klasy C30/37 do C50/60 lub wyższej. **Stal zbrojeniowa:** B500B (C) – pręty główne, B500A – strzemiona. **Stal sprężająca:** 7-drutowe sploty sprężające o średnicy 12,5 mm i nominalnej wytrzymałości na rozciąganie 1860 MPa – wyjątkowo w słupach o smukłości przekraczającej wytyczne normowe. **Wykończenie powierzchni:** trzy strony gładkie „od formy”, czwarta strona zacierana mechanicznie lub ręcznie na gładko. Krawędzie fazowane fazą trójkątną 10/10 lub 15/15. Na życzenie możliwe większe. W miejscach oparcia poziomych elementów konstrukcyjnych możliwe fazowanie o grubości otuliny jako zabezpieczenie przed odwarstwieniem otuliny przy nieprawidłowym ułożeniu podkładek elastomerowych.

Z wyjątkiem słupów krótkich o przekroju okrągłym słupy produkowane, składowane i transportowane są zazwyczaj w pozycji poziomej. Stąd przy projektowaniu, oprócz fazy użytkowej, należy uwzględnić obciążenia występujące przy rozformowaniu i w transporcie, a słup należy wyposażyć w wymagane do transportu i montażu akcesoria. W zależności od potrzeb i indywidualnych uzgodnień **akcesoria** to: szyny do montażu ścian ostonowych na wkręty, ścian prefabrykowanych na śruby młotkowe za pośrednictwem łączników, łączniki do połączeń monolitycznych ze ścianami prefabrykowanymi, zbrojenie odginane, łączniki słupowe i inne. Atrakcyjnym funkcjonalnie rozwiązaniem jest możliwość zatopienia w słupie pionu odwodnieniowego do odprowadzenia wód opadowych z dachu. W słupach można prowadzić również zwody instalacji odgromowej i wyrównawczej, z wykorzystaniem zbrojenia konstrukcyjnego jako przewodu tej instalacji. Akcesoria, z wyjątkiem tych przeznaczonych do wstępnego montażu, są z reguły ocynkowane lub (rzadziej) wykonane ze stali kwasoodpornej klasy A4.

Marki i okucia stalowe wykonywane są ze stali konstrukcyjnych, w zależności od potrzeb zagruntowane antykorozyjnie, cynkowane lub malowane. Przy projektowaniu marek należy umieścić kotwienie w sposób niekolidujący ze zbrojeniem słupa. Przy wysokim

stopniu zbrojenia w praktyce trudno jest dopasować marki katalogowe w sposób niekolidujący z prętami zbrojenia głównego (rys. 9 i fot. 12).

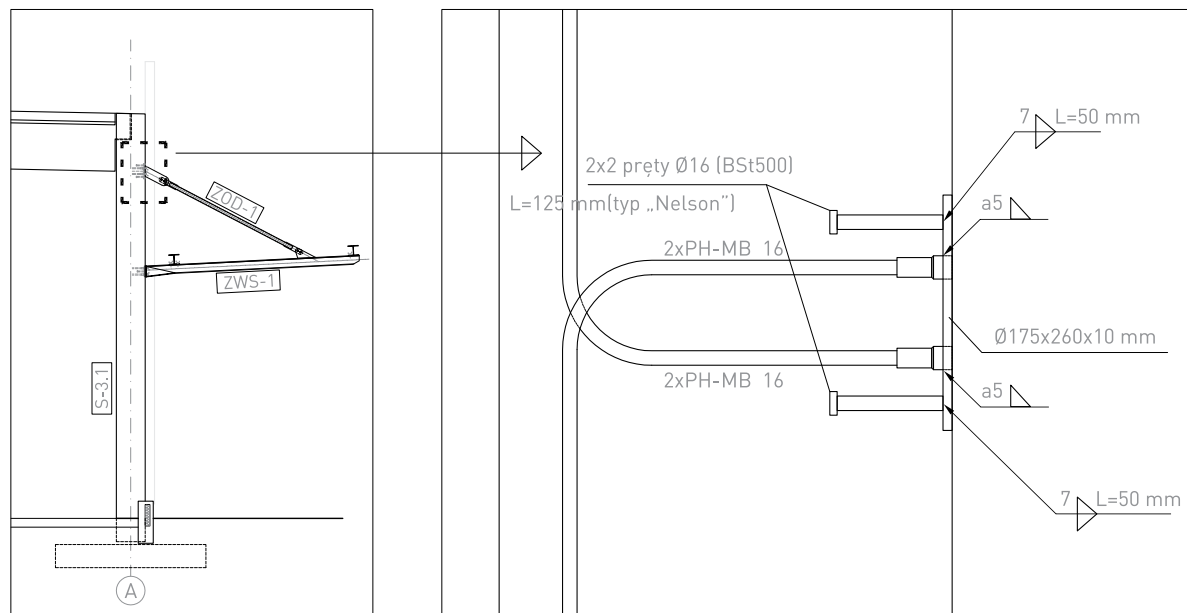
W stosunku do konstrukcji monolitycznych różnice zbrojenia słupów prefabrykowanych polegają na uwzględnieniu lokalizacji akcesoriów oraz obciążeń montażowych i transportowych. Lokalizacja akcesoriów ma miejsce z reguły w obu płaszczyznach w osi symetrii przekroju. Wymusza to stosowanie parzystej liczby prętów zbrojenia głównego (licząc wzdłuż krawędzi), tak aby w osi symetrii pozostał obszar na akcesoria niekolidujący ze zbrojeniem. W miejscach lokalizacji haków transportowych i otworu na trzpień montażowy dogęszcza się strzemiona i stosuje do zbrojenie zgodnie z wytycznymi producentów systemów transportowych. Przy połączeniu z fundamentem zbrojenie musi uwzględniać wymogi wynikające z zastosowanego systemu połączenia.



Fot. 12.
 Typowe zbrojenia słupów



Fot. 13.
 Mufa miedziana przygotowana do przykręcenia instalacji odgromowej



Rys. 9.
Marka stalowa
do mocowania daszku

Oparcie na głowicach słupów – zależnie od schematu statycznego i przeznaczenia stopy mogą być zakończone marką głowicową, wytykami z prętów zbrojeniowych bądź gwintowanych lub wypuszczonym

zbrojeniem głównym. W przypadku zbyt małego przekroju dla oparcia belek na głowicy istnieje możliwość wykonania wsporników jedno-, dwu-, trzy- lub cztero-kierunkowych.

Fot. 14.
Poszerzona głowica stupa
dla oparcia belek



Wsporniki w słupach wielokondygnacyjnych mogą być wykonywane we wszystkich kierunkach. Należy pamiętać, że każdy wspornik zwiększa koszt słupa i czasem optaca się (dla uniknięcia stosowania wsporników) zwiększyć przekrój podstawowy słupa. Wsporniki najlepiej jest sytuować na tym samym poziomie przeciwległych boków, natomiast na sąsiadujących bokach – z przesunięciem wysokościowym przynajmniej o średnicę poziomego zbrojenia wspornika. Zasady zbrojenia wsporników zgodnie z wytycznymi normowymi. Istnieją systemowe akcesoria do połączeń belka/ply-

ta-słup, gdzie zawieszenie belki na słupie odbywa się poprzez wysunięcie z belki elementu nośnego (noża) w osadzone w słupie gniazdo lub zawieszenie belki z ukształtowanym na końcach gniazdem na miniwsporniku żeliwnym dokręcanym do marki osadzonej w korpusie słupa. Rozwiązania te są atrakcyjne architektonicznie (brak widocznego wspornika) i technologicznie (prosta forma słupowa), ale z racji niskiej nośności złącza, nieprzenoszenia sił poziomych i koniecznego dodatkowego dyblowania dla przeniesienia momentów skręcających przydatne raczej w połączeniach belek drugorzędnych ze słupem.

Fot. 15.
Marka wspornika dokręcane-
go w zbrojeniu i w gotowym
słupie. Na głowicy pręty
gwintowane do połączenia
skręcane z słupem następ-
nej kondygnacji



Zakotwienie w fundamencie i połączenia z innymi elementami konstrukcyjnymi omówiono szczegółowo w rozdziałach 4.5.3, 4.5.4, 4.5.7, 4.5.8.

Specjalną odmianą prefabrykowanych słupów są stopostupy, które stanowią połączenie słupa ze stopą fundamentową. Stopostupy omówiono szczegółowo w rozdziale 3.6.

3.3. Stropy

Stropy w obiektach szkieletowych z elementów prefabrykowanych projektuje się najczęściej jako konstrukcję belkowo- płytową, spajaną w sztywną tarczę stropową poprzez zabetonowanie spoin, zmonolityzowanie połączeń belek z płytami stropowymi oraz (często) wykonanie nadbetonu konstrukcyjnego. Elementy prefabrykowane, w szczególności sprężone, pozwalają uzyskiwać trudno dostępne lub nieoptymalne dla monolitu rozpiętości przekraczające 20 m. Również w przypadku dużych obciążeń użytkowych prefabrykacja dzięki sprężeniu proponuje rozwiązania konkurencyjne w stosunku do stropów monolitycznych.

3.3.1. Belki stropowe

Belki oparte na słupach stanowią główną konstrukcję nośną stropu w budynku szkieletowym. Ułożone najczęściej w postaci równoległych jednokierunkowych ciągów, stanowią podparcie dla prostopadłe ułożonych płyt stropowych. Uzupelnienie głównych belek konstrukcyjnych stanowią belki drugorzędne, układane równolegle do płyt stropowych, np. na zewnętrznych krawędziach stropu, stanowiące podparcie dla ścian osłonowych. Ze względu na kształt przekroju dzielimy belki na 1) prostokątne typu "B", 2) typu „odwrócone T” i 3) typu „L” (tab.10). W nazewnictwie firmowym funkcjonują oznakowania belek stropowych pochodzące od dawniej używanego określenia belki – „rygiel”, stąd w wielu katalogach belka prostokątna ma symbol „R”. Typ „odwrócone T” – symbol „RT”, belka o kształcie litery L – symbol „RL” Wyróżniamy również belki zespolone, mogące

występować w każdym z ww. typów. Kształt belek nie ma zasadniczego wpływu na nośność, dlatego by dokonać wstępnego doboru wysokości przekroju, można skorzystać z tabelki zależności między wysokością przekroju a rozpiętością. Ponieważ wielkości obciążeń mogą być bardzo zróżnicowane, dane z tabelki należy traktować bardzo orientacyjnie.

Belki stropowe projektuje się najczęściej jako jednoprzęsłowe, jednak istnieje również możliwość uciągania belek stropowych poprzez zabetonowanie spoiny pomiędzy belkami a słupem oraz dokończenie górą zbrojenia uciągającego. Do realizacji uciągania przydatne są systemy uciągające zbrojenie, wykorzystujące połączenia gwintowane prętów zbrojeniowych, jak również przepuszczenia uciąglenia przez słup prefabrykowany (pręty z obustronnymi mufami).

Wybór schematu statycznego musi opierać się na przesłankach ekonomicznych oraz uwzględniać zmienność schematów statycznych belek w trakcie realizacji. Na każdym etapie realizacji konstrukcja prefabrykowana powinna być samonośna, czyli *bez lub z bardzo ograniczonym stosowaniem podpór* montażowych czy usztywnień. W prostych schematach statycznych (belki wolnopodparte) bezkonkurencyjne są belki sprężone. Przy przewidywanym uciąganiu oraz w belkach drugorzędnych słabo obciążonych bardziej ekonomiczne mogą okazać się belki zbrojone tradycyjnie.

Typowe dane materiałowe słupów belek stropowych

Beton: klasy C40/45 – C50/60 lub wyższej. **Stal zbrojeniowa:** B500B (C) – pręty główne, B500A – strzemiona. **Stal sprężająca:** 7-drutowe sploty sprężające o średnicy 12,5; 15,2; 15,7 mm i nominalnej wytrzymałości na rozciąganie 1860 MPa. **Wykończenie powierzchni:** spód i boki gładkie „od formy”, góra zacierana mechanicznie lub ręcznie na gładko, z wyjątkiem powierzchni przeznaczonych do zespolenia z betonem monolitycznym, gdzie powierzchnia jest uszorstniona poprzez odstonięcie ziarna, grabienie lub dyblowanie. Krawędzie fazowane fazą trójkątną 10/10 lub 15/15.

Tabl. 10.
Belki stropowe

przekroje			Wysokość przekroju (mm)	ROZPIĘTOŚĆ [m]						
				5	10	15	20	25	30	35
BELKI STROPOWE		400	■	■						
		500	■	■	■					
		600	■	■	■	■				
		700	■	■	■	■	■			
		800	■	■	■	■	■	■		
		900	■	■	■	■	■	■	■	
Uwaga: z uwagi na rozpiętość możliwych obciążeń i uwarunkowań funkcjonalnych należy dobrać wysokości z tabel producentów										

3.3.1.1. Belki o przekroju prostokątnym

Najkorzystniejszymi statycznie i do prefabrykacji są belki prostokątne i dwuteowe, z obciążeniem przyłożonym na górnej powierzchni, jednak w praktyce rzadko mamy do czynienia z możliwością zamieszczenia pod stropem konstrukcyjnej belki pełnej wysokości. Jeżeli uda się uzyskać wymaganą nośność belki w oparciu o przekrój o stosunku wysokości/szerokości ≥ 2 , to belka prostokątna będzie ekonomicznie optymalna. Minimalna szerokość belki to szerokość oparcia stropu (jednostronnie lub dwustronnie) plus szerokość wieńca monolityzującego strop z belką (minimum 120 mm). Belka nie powinna być szersza niż słup, na którym się opiera. Zastosowanie – głównie w przypadkach obustronnego oparcia stropu.

3.3.1.2. Belki typu „odwrócone T” (RT)

Wszędzie tam, gdzie nie ma dostatecznej wysokości, by oprzeć strop na górnej powierzchni belki, dla dwustronnego oparcia płyt stropowych stosuje się belki w kształcie odwróconego T, gdzie poniżej stropu belka wystaje tylko na wysokość półki do oparcia prefabrykatów stropowych. Ten „luksus” funkcjonalny zwiększa ilość zbrojenia o zbrojenie wsporników i „podwieszenie” nisko usytuowanych wsporników do podstawowego przekroju belki. W sensie konstrukcyjnym belki typu „odwrócone T” są belkami prostokątnymi z dowieszonymi wspornikami pod płyty stropowe. Podczas montażu występują znaczne momenty skręcające od mimośrodowego jednostronnego obciążenia, co wymaga zastosowania zabezpieczenia przed obrotem w podparciu belki, zdolnego przenieść momenty skręcające od obciążeń montażowych. W fazie użytkowej problemy te nie mają znaczenia, pod warunkiem zmonolityzowania belek z prefabrykowanym bądź monolitycznym stropem. W tym celu utwierdza się połączenie poprzez trzpienie lub wypuszczone zbrojenie łącznie belkę ze stropem w dolnej części stropu i połączenie wypuszczonego górnego zbrojenia z belki ze zbrojeniem nadbetonu na płytach stropowych. Rozwiązanie to pozwala na uwzględnienie udziału nadbetonu w nośności belki na obciążenia docelowe. Belki zespolone z nadbetonem mają strzemią wypuszczone ponad górną i uszorstnioną powierzchnię prefabrykatu. Strzemią służą do zapewnienia zespolenia z nadbetonem.

cyjnym belki typu „odwrócone T” są belkami prostokątnymi z dowieszonymi wspornikami pod płyty stropowe. Podczas montażu występują znaczne momenty skręcające od mimośrodowego jednostronnego obciążenia, co wymaga zastosowania zabezpieczenia przed obrotem w podparciu belki, zdolnego przenieść momenty skręcające od obciążeń montażowych. W fazie użytkowej problemy te nie mają znaczenia, pod warunkiem zmonolityzowania belek z prefabrykowanym bądź monolitycznym stropem. W tym celu utwierdza się połączenie poprzez trzpienie lub wypuszczone zbrojenie łącznie belkę ze stropem w dolnej części stropu i połączenie wypuszczonego górnego zbrojenia z belki ze zbrojeniem nadbetonu na płytach stropowych. Rozwiązanie to pozwala na uwzględnienie udziału nadbetonu w nośności belki na obciążenia docelowe. Belki zespolone z nadbetonem mają strzemią wypuszczone ponad górną i uszorstnioną powierzchnię prefabrykatu. Strzemią służą do zapewnienia zespolenia z nadbetonem.

Fot. 16.

Belka typu „odwrócone T” pod różne grubości stropu, oparcie na wsporniku „krytym”. Widoczne pręty i gniazda mufowe do zmonolizowania ze stropem, bez nadbetonu konstrukcyjnego



3.3.1.3. Belki typu „L” (RL)

Odmianą belek typu „odwrócone T” pod jednostronne obciążenie płytami stropowymi są belki typu „L”, określane również jako belki krawędziowe. Przy stałym mimośrodowym przyłożeniu obciążenia konieczne jest zablokowanie obrotu od momentu skręcającego na podporze.

Możliwości są dwie:

- pełna monolityzacja złącza strop–belka i pozostawienie swobody obrotu od ugięcia na podporze,
- pozostawienie przegubowego oparcia płyt na belce i zapewnienie połączenia słup–belka zdolnego do przeniesienia momentu skręcającego na słup.

W praktyce realizuje się najczęściej wariant pośredni, czyli zabezpieczenie przed obrotem na obciążenia wykonawcze stanu surowego i zmonolityzowanie złącza na obciążenia użytkowe.



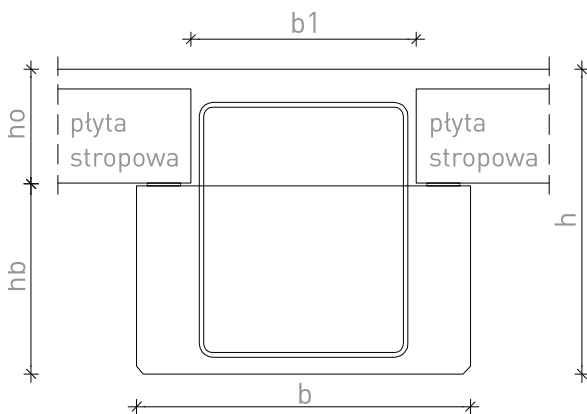
Fot. 17.
Belka krawędziowa. Widoczne dyblowanie i otwory na połączenie, skręcane w poziomie wieńca dla przeniesienia na słup momentu skręcającego i częściowe uciążlenie

3.3.1.4. Belki zespolone

W celu uzyskania sztywności tarczy stropowej stosuje się monolityczne połączenia nad belkami na poziomie stropu, które warto wykorzystać do zwiększenia nośności belki poprzez zaprojektowanie jej jako belki zespolonej. Idealnym rozwiązaniem jest zaprojektowanie przekroju tak, aby część prefabrykowana zapewniała nośność na obciążenia stałe stanu surowego, bez konieczności podpierania tymczasowego, a wykonanie wieńca monolitycznego na wysokość płyt stropowych i ewentualnie nadbetonu konstrukcyjnego zwiększało nośność przekroju zespolonego do nośności wymaganej docelowo. Belki zespolone dają możliwość zmiany schematu statycznego z jednoprzęsłowego wolnopodpartego na układy wieloprzęsłowe, gdzie uciążlenie odbywa się w warstwie betonu monolitycznego.



Fot. 18.
Belki sprężone przygotowane do zespolenia



Rys. 10.
Schemat belki
zespolonej

3.3.2. Płyty stropowe

W przemysłowych obiektach szkieletowych obciążenia stropów mogą być bardzo zróżnicowane w zależności od funkcji pomieszczeń znajdujących się nad nimi: od pomieszczeń biurowych i socjalnych po magazynowe czy technologiczne. Bardzo różne mogą być również wymagania co do ognioodporności, dlatego trudno mówić o preferowaniu któregoś z rozwiązań prefabrykowanych stropów.

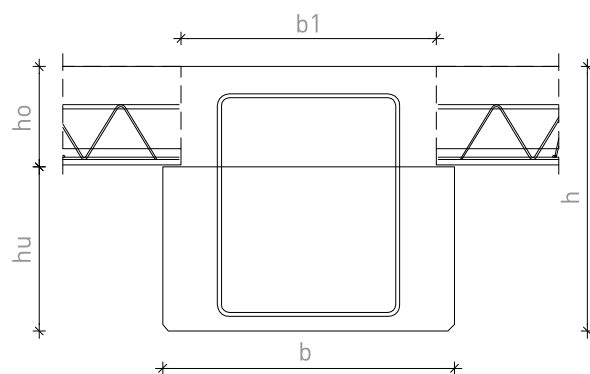
3.3.2.1. Płyty pełne

Są stosowane w ograniczonym zakresie dla małych rozpiętości i relatywnie niewielkich powierzchni (przekrycie niewielkich pomieszczeń, podesty klatek schodowych itp.) oraz tam, gdzie wymagane są otwory technologiczne. Przy większych rozpiętościach stosuje się obecnie płyty stropowe sprężone, przy czym warto pamiętać, że ciągną sprężające ograniczają swobodę wykonywania otworów. Płyty pełne stosuje się wszędzie tam, gdzie pożądane są: pełny przekrój i gładka powierzchnia spodu oraz swoboda w wykonaniu górnej powierzchni płyty, czyli np. w pochyleniach w garażach wielopoziomowych czy przekryciach pomieszczeń technologicznych lub magazynowych o stałym przeznaczeniu. Wielkość stosowanych płyt jest ograniczona możliwościami transportowymi – szerokość do 2,7 m (dla płyt sprężonych transportowanych w poziomie) i rozpiętości zależnej od grubości płyty – do 10 m przy grubości płyty 200 mm i obciążeniach z kategorii biurowo-mieszkalnej.

3.3.2.2. Stropy zespolone typu filigran lub 2K

Alternatywą z pogranicza prefabrykacji i monolitu są stropy zespolone z zastosowaniem płyt typu filigran lub 2K, w których prefabrykowana płyta o grubości 5-12 cm jest wykonywana do szerokości 2,7 m i długości najczęściej do 8 m, i usztywniona jest dźwigarkami kratowymi. Dzięki

grubości prefabrykatu można zmieścić w nim kompletne rozciągane zbrojenie przęsłowe. Dźwigarki kratowe działają jako zbrojenie łączeniowe pomiędzy płytą a nadbetonem, usztywniając wiotką płytę w transporcie i umożliwiając na budowie podparcie o rozpiętościach 2-3 m. Zbrojenie górne jest wykonywane na budowie, a dźwigarki służą do ułożenia go na właściwej wysokości. Istnieje możliwość wykonania stropu w układzie wieloprzęsłowym, a w wersji 2K z specjalnym zbrojeniem krawędziowym pracującym dwukierunkowo. Belki pod stropy filigran mogą być projektowane jako przekrój zespolony, z uwzględnieniem nadbetonu wylewanego na płytach stropowych.



Rys. 11.
Oparcie płyt typu
filigran na belce –
przekrój
zespolony

„Filigrany” szczególnie przydatne są przy skomplikowanych kształtach rzutu stropu oraz przy znacznej ilości otworów technologicznych. Płyty tego typu są często stosowane w budownictwie przemysłowym jako uzupełniające w stropach żebrowych typu TT, gdzie typowy rozstaw żeber jest zbyt mały, żeby zmieścić duże otwory technologiczne lub komunikacyjne. Zastosowanie zbrojenia sprężającego i dobrojenie pasów górnych kratowniczek dodatkowymi prętami pozwala na uzyskanie płyty samonośnej, zdolnej przenieść ciężar własny i ciężar nadbetonu, umożliwiając tym samym rezygnację z podparcia na czas montażu i dojrzwania nadbetonu.

3.3.2.3. Płyty wielootworowe

Sprężone płyty kanałowe (*Hollow Core – HC*) produkowane metodami przemysłowymi na długich torach, gdzie żądane długości uzyskuje się przez cięcie uformowanego przez specjalistyczne maszyny pasma o długości toru, są podstawowym elementem konstrukcji stropów.

3.3.2.4. Dwużebrowe płyty stropowe TT

Przy większych rozpiętościach i obciążeniach optymalnym rozwiązaniem jest strop płytowo-żebrowy realizowany przy pomocy sprężonych płyt typu TT, o rozstawie żebrowych nośnych 1,2 m z płytą o grubości półki 5-12 cm przy szerokości do 2,9 m. Przy wysokości żebra równej 900 mm rozpiętość stropu ponad 20 m nie stanowi problemu. Płyty bez sprężenia wykonuje się o długościach do 12 m.

Płyty TT są w stanie przenosić wysokie obciążenia użytkowe wynoszące ponad 25 kN/m². Z tego też względu są szczególnie korzystne w budownictwie przemysłowym, w obiektach magazynowych i handlowych, jak i na parkingach wielopoziomowych, gdzie żebra stropowe nie są przeszkodą architektoniczną. Stropy z zastosowaniem płyty TT wykonuje się z zasady z nadbetonem na cienkiej (5-7 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 szorstkim wykończeniem powierzchni. W tym przypadku krawędzie podłużne muszą być ukształtowane w zamki dyblowe w celu zapewnienia współpracy sąsiadujących płyt. Płyty TT opierane są na półkach belek typu „odwrócone T” końcami żebrowych, z podcięciem lub bez. Możliwe jest również oparcie za pośrednictwem systemowych kształtowników stalowych wypuszczonych jako wsporniki w górnych końcach belek.

Tabl. 12.
 Płyty TT przekrój i zakres stosowania

przekroje		Wysokość przekroju [mm]	ROZPIĘTOŚĆ [m]						
			5	10	15	20	25	30	35
PŁYTY TT		300							
		400							
		500							
		600							
		700							
		900							
Uwaga: zakres max przyjęto dla zewnętrznych obc. obl. 10 kN/m ² , R60.									

Płyty TT dają swobodę lokalizacji otworów w obszarach poza żebrowymi. W przypadku konieczności lokalizacji większych otworów możliwe jest zastosowanie płyt T z pojedynczym żebrem i zastąpienie płyty poziomej integralnie związanej z żebrem płytą typu filigran układaną na wycięciu krawędziowym płyty TT lub T.

Typowe dane materiałowe płyt stropowych

Beton: klasy C50/60. **Stal zbrojeniowa:** B500B (C) – pręty główne, B500A – strzemiona i siatki zgrzewane. **Stal sprężająca:** 7-drutowe sploty sprężające o średnicy 12,5 mm i nominalnej wytrzymałości na rozciąganie 1860 MPa. **Wykończenie powierzchni:** spód płyty gładki „od formy”. Boki „od formy”, na ogół profilowane dla połączeń z belkami i sąsiednimi płytami, powierzchnia górna zacierana mechanicznie lub ręcznie na gładko, jeżeli nie projektuje się konstrukcyjnego nadbetonu lub uszorstniana dla zespolenia z nadbetonem. Krawędzie fazowane fazą trójkątną 10/10 lub 15/15.

3.4. Ściany w budynkach szkieletowych

W budynkach szkieletowych ściany zewnętrzne pełnią na ogół funkcję osłonową, a wewnętrzne mogą być wykorzystane w celu usztywnienia konstrukcji albo pełnić jedynie rolę przegrody funkcjonalnej lub ogniowej. Wykonane mogą być z różnorodnych materiałów jako ściany monolityczne, murowane, metalowe itp., mogą również pełnić funkcje architektoniczne (Zeszyt 1, pkt 5.1). W elementach prefabrykowanego szkieletu lokalizuje się akcesoria połączeniowe zapewniające współpracę z innymi konstrukcjami i elementami. Połączenia szczegółowo omówiono w rozdziale 4.5. Różnorodność możliwych zastosowań materiałowych do wykonania ścian nie wyklucza stosowania w takich obiektach ścian prefabrykowanych, zarówno z powodów architektonicznych, jak i ekonomiczno-funkcjonalnych. W budownictwie szkieletowym ściany występują jako ściany wewnętrzne, osłonowe samonośne ściany zewnętrzne lub jako rozwiązanie podwalin.

3.4.1. Ściany wewnętrzne

Wykonywane są jako ściany jednowarstwowe, tj. ściany usztywniające, ściany oddzielenia pożarowego, konstrukcje szachtów komunikacyjnych. Połączenia między ścianami są zmonolityzowane z użyciem łączników systemowych lub wypuszczonych strzemion (zbrojenie odginane). Prefabrykowane ściany oddzielenia pożarowego mogą być wykonywane z dyli gazobetonowych.



Fot. 19.
Ściana oddzielenia pożarowego z wypełnieniem dylami gazobetonowymi

3.4.2. Ściany zewnętrzne

Ściany zewnętrzne to najczęściej osłony samo-
nośne ściany, jedno- lub trójwarstwowe. Ściany ze-
wnętrzne pełnią funkcje usztywniające oraz pa-
smowe opierane na belkach krawędziowych stropów

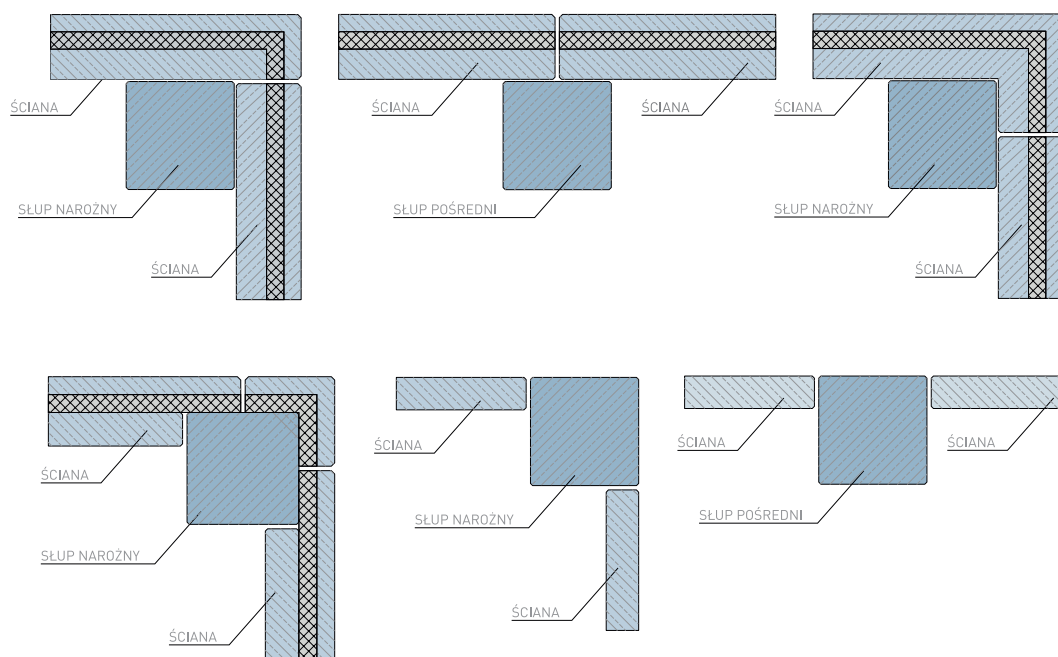
projektuje się z warstwą konstrukcyjną wpuszczoną
między stupy i z połączeniami zmonolityzowanymi
ściana–stupa.



Fot. 20.
Ściana zewnętrzna z płyt samo-
nośnych i zawieszanych



Fot. 21.
Plan I – ściana oddzielenia pożarowego z płyt kanalowych
WHC i słupów „H”. Plan II – zewnętrzna ściana ostonowa



Rys. 13.
Ściany wpuszczone między słupy
(jednowarstwowe i trójwarstwowe)

3.4.3. Belkościany podwalinowe

Częstym rozwiązaniem stosowanym w prefabrykowanych obiektach szkieletowych są podwaliny projektowane często jako belkościany oparte na stopach fundamentowych stóp szkieletu. Przy różnicy poziomów (wewnętrznego i zewnętrznego) ściany podwalinowe mogą być projektowane jako ściany oporowe. Ze względów transportowych najczęściej prefabrykowana jest pionowa część płaska z wypuszczonym zbrojeniem odginanym do połączenia poziomej podstawy wylewanej na budowie. Ściany zewnętrzne niepełniące funkcji usztywnienia konstrukcji szkieletowej najlepiej projektować jako samonośne, przylegające do stóp zewnętrznych. Połączenia z stępem na skręcane lub spawane łączniki zewnętrzne zapewniają stateczność ustroju.



Fot. 22.
Podwalina oparta na stopach
i mocowana do stóp

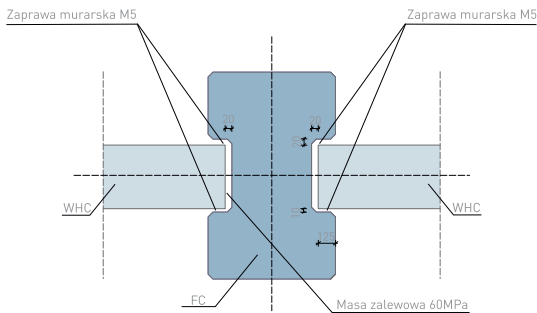
W strefach zagrożeń uderzeniem od transportu zewnętrznego czy wewnętrznego, zwłaszcza w rejonie bram i doków załadunkowych, ściany betonowe są najlepszym rozwiązaniem z uwagi na ich odporność na obciążenia uderzeniowe. Na całej wysokości ścian zewnętrznych, ze względów architektonicznych i użytkowych, ściany projektowane są jako samonośne lub pasmowe, zawieszane na wspornikach stóp lub belkach krawędziowych stropów. W tej kategorii mieszczą się też belkościany oparte na wspornikach stóp, łączące funkcję belki podstropowej ze ścianką podokienną.



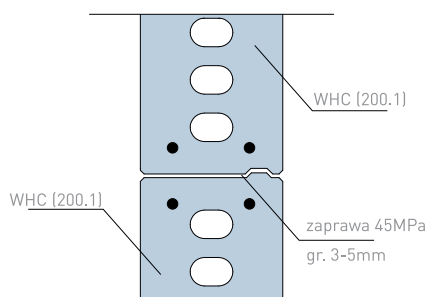
Fot. 23.
Prefabrykowane ściany
obudowy doków (również
prefabrykowanych w formie
przestrzennych skrzyń)



Fot. 24.
Obudowa doków –
inne rozwiązanie. Wspólna
komora dla grupy doków



Rys. 14.
Przekrój złącza stupa „H” i ściany kanalowej (WHC)



Rys. 15.
**Złącze płyt kanałowych (WHC)
 w ścianie oddzielenia pożarowego**

Prefabrykowane ściany oddzielenia pożarowego z stóp „H” i płyt kanałowych WHC można projektować do REI 240 włącznie.

Typowe dane materiałowe ścian

Beton: minimum C30/37. **Stal zbrojeniowa:** B500B (C) – pręty główne, B500A – strzemiona i siatki zgrzewane. **Izolacja termiczna:** styropian (EPS 100-038, EPS 200-036), twarda wełna mineralna (dach-podłoga), styrodur: XPS – dla podwalin, PIR – przy wymaganiach ppoż. **Wykończenie powierzchni:** jedna ze stron gładka lub z gotową fakturą (kruszywo płukane, odcisk z matrycy), druga zacierana mechanicznie na gładko lub celowo uszorstniona w celu zwiększenia przyczepności okładzin, np. ceramicznych. Ekspozowane kruszywo na faktury płukane – bazalt, granit, frakcjonowany żwir.

Szczegółowe omówienie zagadnienia prefabrykowanych ścian z betonu przedstawione będzie w Zeszytcie 3 dotyczącym konstrukcji ścianowych.

3.5. Stopy fundamentowe

W budownictwie obiektów o konstrukcji prefabrykowanej szkieletowej stosuje się prefabrykowane stopy fundamentowe nie tylko betonowe, ale też wykonane w technologii stalowej czy drewnianej. Stanowią one atrakcyjną alternatywę dla fundamentów monolitycznych przy realizacji obiektów, dla których kluczowe znaczenie ma szybkość montażu.

Prefabrykowane stopy fundamentowe są korzystne szczególnie jako uzupełnienie rozwiązania podstawowego w postaci stopostupów. Stosuje się je w celu

posadowienia elementów dodatkowych, np. stóp drugorzędnych, stalowych, i w przypadkach, gdzie zastosowanie stopostupa jest niemożliwe (kilka stóp na jednej stopie, znaczna asymetria utrudniająca montaż).

Ekonomicznie uzasadnienie ma zastosowanie stóp prefabrykowanych w niewielkich konstrukcjach inżynierskich, np. w masztach, ogrodzeniach lub słupach wolnostojących, gdzie występują znaczne siły poziome i wrywające.

Typowe dane materiałowe stóp fundamentowych

Beton: klasy minimum C30/37, maximum C50/60. **Stal zbrojeniowa:** B500B (C) – pręty główne, B500A – strzemiona i siatki zgrzewane. **Wykończenie powierzchni:** boki „od formy”, spód i góra w zależności od kierunku zalewania – „od formy” lub zacierana. W przypadkach koniecznych (znaczne siły poziome) spód stopy może być uszorstniony lub dyblowy dla zwiększenia pewności przeniesienia sił. **Powierzchnia** przygotowana pod ewentualne zabezpieczenie powłokowe (dla przeciętnych warunków środowiskowych dzięki wysokiej jakości betonu dodatkowe zabezpieczenia nie są potrzebne): krawędzie fazowane na życzenie, marki i okucia stalowe – z stali konstrukcyjnych, w zależności od potrzeb zagruntowane antykorozyjnie, cynkowane lub malowane.

3.5.1. Stopy pod prefabrykowane słupy żelbetowe

Stosowane są trzy rozwiązania stóp do posadowienia stóp żelbetowych: z połączeniem na wytyki (startery), z łącznikami systemowymi oraz kielichowe. Kształt stóp uzależniony jest od projektowanego sposobu połączenia stopy ze słupem oraz od powtarzalności stosowania. Przy niewielkich ilościach typowym rozwiązaniem jest stopa prostopadłościenna. Przy powtarzalności powyżej 30-40 sztuk jednego typu optymalna jest optymalizacja kształtu, np. stopy trapezowe, wielokątne, o zbieżnych bokach itp.

Stopy przystosowane do łączenia na wytyki

Z reguły są to stopy prostopadłościenne, z wypuszczonym zbrojeniem (startery). Rozmiary ograniczone są warunkami transportowo-montażowymi. Szerokość stóp nie powinna przekraczać skrajni drogowej (do 2,8 m – w przypadku zapotrzebowania na większą szerokość można zastosować zbrojenie odginane i obetonowanie na budowie). Masa elementu ograniczona jest w zasadzie wyłącznie parametrami żurawia montażowego. Wysokość stopy wynosi najczęściej 40-70 cm.



Fot. 25.
Stopy prefabrykowane do łączenia na wytyki

Stopy mocowane za pomocą łączników systemowych

Kształt i parametry elementów tego rodzaju są zbliżone do stóp na wytyki, lecz zamiast wytyków prętowych stosowane są systemowe połączenia na śruby, „szpilki”, kotwy mufowe. Stopy łączone w ten sposób wymagają dużej precyzji wbudowania (dokładność ± 2 mm), co jest trudne do osiągnięcia w warunkach budowy, ale łączenie to pozwala na bardzo precyzyjną korektę ustawienia stóp, szczególnie stóp wielokondygnacyjnych.

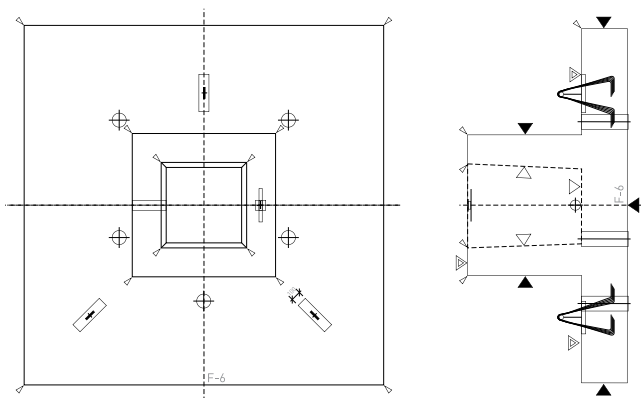
Stopy kielichowe

Możliwe jest wykonanie stopy kielichowej prefabrykowanej w całości lub tylko prefabrykowanego kielicha z wypuszczonym w dół zbrojeniem połączeniowym. Ta druga możliwość zapewnia wysokiej jakości wykonanie najtrudniejszej i pracochłonnej części stopy i skraca cykl budowlany o czas potrzebny na wiązanie betonu w części kielichowej. Jednak w praktyce wiąże się również z sporymi trudnościami wykonawczymi związanymi z koniecznością ustawienia mało stabilnego prefabrykowanego kielicha, a następnie przetykania pod nim zbrojenia podstawowej części stopy. Problemów tych nie ma przy kompletnej stopie prefabrykowanej. Montaż stupa w stopie kielichowej wykonywany jest na mokro, co wymusza stosowanie stabilizacji montażowej do czasu uzyskania parametrów roboczych przez zaprawę montażową.



Fot. 26.
Stopy fundamentowe mocowane
za pomocą łączników systemowych





Rys. 16.
Stopa kielichowa prefabrykowana. Powierzchnia wewnętrzna kielicha uszorstniona lub dyblwana, otwory \varnothing 100-160 do zalania podlewki (grubość 50-70 mm – beton drobnoziarnisty), otwór u spodu kielicha służący do odwodnienia

3.5.2. Stopy pod słupy stalowe

Stopy pod słupy stalowe wykonywane są podobnie jak pod słupy żelbetowe mocowane na łączniki systemowe, ale z kotwami dostosowanymi do połączeń konstrukcji stalowych. Z uwagi na mniejszą niż w żelbecie powierzchnię dociskową oprócz kotew często stosuje się również markę z blachy. Jeżeli słup stalowy jest posadowiony na poziomie zbliżonym do $\pm 0,00$, to prefabrykat może być wykonany w formie bardzo niskiego stopostępu (fot. 27).



Fot. 27.
Stopa pod słup stalowy

Wadą stóp prefabrykowanych pod konstrukcje stalowe jest konieczność ustawienia prefabrykatu stopy z dokładnością ± 2 mm, podobnie jak przy żelbetowych łącznikach słupowych. Dlatego istnieje możliwość wykonania stopy z wypuszczonym kompletnym zbrojeniem słupa i kotwami do obetonowania na budowie po montażu stopy.

Akcesoria wbudowane

Oprócz połączeń ze słupem w stopę prefabrykowaną można wbudować uziemienie z płaskownika lub pręta ocynkowanego z łącznikami zewnętrznymi, marki, kotwy i gniazda dla innych elementów (np. podwalin), a także rury i przepusty dla wszelkiego rodzaju instalacji.

Typowe dane materiałowe stóp fundamentowych pod słupy stalowe

Beton: klasa C30/37 lub wyższa, wodoszczelność W8.
Stal: B500 (B). **Wykończenie powierzchni:** od formy i zatarte na gładko. W przypadku wód agresywnych zabezpieczone dodatkowo powłoką bitumiczną.

3.6. Stopostupy

W ostatnich latach coraz częściej stosowane są stopostupy, tj. prefabrykowane połączenia słupa żelbetowego i stopy płytowej.

Podstawową zaletą prefabrykowanych stopostupów jest krótki czas potrzebny na ich produkcję i montaż. Takie rozwiązanie pozwala również na wyeliminowanie problemu wykonania konstrukcyjnego połączenia prefabrykowanego słupa ze stopą fundamentową w warunkach budowy. Jest to szczególnie istotne w obiektach halowych, gdzie stateczność budynku jest realizowana często jedynie poprzez utwierdzenie słupów w stopach fundamentowych. Równoczesne betonowanie stopy i słupa pozwala uzyskać ich maksymalnie sztywne połączenie, które jest w stanie przetransmitować znaczne obciążenia niezrównoważonym momentem zginającym.

Projektowanie posadowienia stopostupów podlega tym samym normom i zasadom, co każde inne rozwiązanie techniczne. Można je projektować na gruntach o dobrych i słabych parametrach geotechnicznych, zarówno przy posadowieniu bezpośrednim, jak i pośrednim, np. na studniach czy na palach. Opracowanie dla nich projektu wykonawczego jest mniej pracochłonne niż w wypadku innych rozwiązań. Konstruktorzy wykonują mniej rysunków, ponieważ stopa jest elementem prefabrykatu, a szczegóły połączenia stopy i słupa jest zbędny.

Montaż stopostupów jest bardzo zbliżony do montażu słupów prefabrykowanych. W miejscu wbudowania, na wcześniej przygotowanym „chudym” betonie, ustawia się prefabrykat i rektyfikuje do projektowanej wysokości. Następnie, poprzez otwory w stopie, wykonuje się podlewkę z drobnoziarnistego betonu ekspansyjnego. Po związaniu betonu następnego dnia

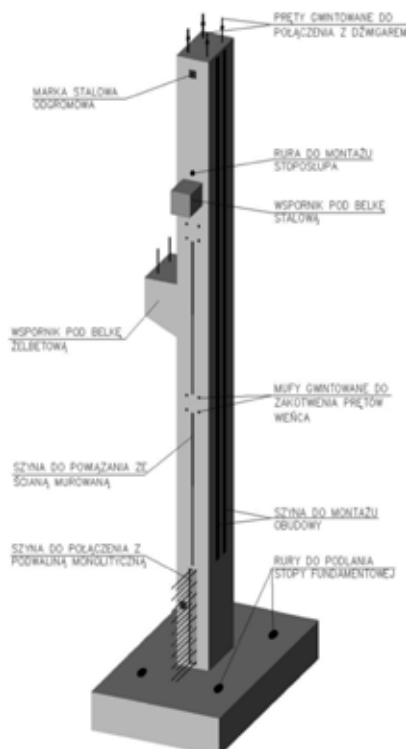
można przystąpić do montażu kolejnych elementów konstrukcji, np. belek stropowych czy dźwigarów dachowych. Jak widać, jednoczesne zmontowanie stopy fundamentowej i słupa pozwala wykreślić z harmonogramu robót czas na szalowanie, zbrojenie, betonowanie i rozszalowywanie tradycyjnych, monolitycznych stóp fundamentowych.

Brak ograniczeń w projektowaniu, nieskomplikowana produkcja i prosty montaż powodują, że stopostupy mogą być stosowane we wszystkich typach obiektów budowlanych, szczególnie jednak nadają się do przemysłowych hal produkcyjnych (również tych z transportem podwieszonym) oraz wielkopowierzchniowych obiektów logistycznych czy handlowych.

Z technicznego punktu widzenia możliwe jest wykonanie stopostupa o dowolnych wymiarach, jednak ze względów ekonomicznych wskazane jest zastosowanie pewnych ograniczeń wynikających głównie z warunków transportu po drogach publicznych. W dużym uproszczeniu można przyjąć, że objętość pojedynczego elementu nie powinna przekraczać 10 m³, a wymiary stopy powinny mieścić się w obrysie prostokąta o wymiarach 2,4 x 3,6 m.

Podstawowe korzyści ze stosowania prefabrykowanych stopostupów:

- znaczące skrócenie czasu realizacji montażu konstrukcji budynku,
- uzyskanie sztywnego utwierdzenia stopy w słupie,
- wyeliminowanie technologicznych i konstrukcyjnych wad połączenia stopa-słup,
- ograniczenie zakresu projektu wykonawczego,
- uzyskanie jakości powierzchni słupa właściwej dla prefabrykacji,
- zmniejszenie kosztów w wyniku oszczędności materiałowych.



Rys. 17.
Przykład stopostupa
wraz z wizualizacją
możliwości połączeń
z innymi elementami
konstrukcji



Fot. 28.
Stopostup przygotowany do transportu
(a) oraz element podczas montażu (b)

EKONOMICZNO-TECHNICZNE PORÓWNANIE PREFABRYKACJI BETONOWEJ Z ALTERNATYWNYMI TECHNOLOGIAMI

Materiał konstrukcyjny od zawsze determinował wszystkie operacje technologiczne podczas wznoszenia, ale również charakterystykę użytkowania i utrzymania obiektu (tabl. 13). Dobór koncepcji materiałowej inwestycji warunkowany jest m.in. oczekiwanym czasem realizacji obiektu, jej maksymalnym akceptowalnym kosztem oraz przeznaczeniem obiektu. Spełnienie wymagań podstawowych, jakie stawia się obiektom budowlanym, możliwe jest zarówno w przypadku technologii prefabrykowanej drewnianej, jak i stalowej oraz betonowej. Jednakże każda z tych technologii w inny, charakterystyczny dla siebie sposób determinuje aspekty ekonomiczne inwestycji. W budownictwie ze stali osiąga się znaczne tempo wznoszenia obiektu przy zachowaniu bardzo dużej lekkości konstrukcji. Ograniczeniem jest natomiast

stosunkowo nieduży zakres rodzajów obiektów wykonywanych w tej technologii. Zazwyczaj należą do nich: hale, mosty, maszty i wieże oraz stopy trakcyjne. Budownictwo drewniane popularne jest z kolei ze względu na atrakcyjność i oryginalność architektoniczną, budząc jednocześnie proekologiczne skojarzenia. Produkcja elementów z drewna, w szczególności z drewna klejonego, jest jednak dość skomplikowana i kosztowna.

Oba typy konstrukcji (drewniane i stalowe) wymagają dodatkowych zabiegów ochronnych w celu zapewnienia trwałości (stal – korozja, drewno – korozja biologiczna) oraz bezpieczeństwa podczas pożaru. Ta ostatnia kwestia, jak również i inne, zostały w bardziej szczegółowy sposób omówione w kolejnych punktach poniżej.

Tab. 13.
Porównanie charakterystyk różnych rozwiązań materiałowych w prefabrykacji

	Rozwiązanie materiałowe prefabrykatu			
	Żelbet	Beton sprężony	Stal	Drewno klejone
Typowe zastosowania	bez ograniczeń	przemysłowe, mostowe	hale, maszty, trakcje, mosty	sportowe, widowiskowe, sakralne
Koszt materiałowy	średni	średni	wysoki	wysoki
Koszt realizacji	średni	średni	średni	wysoki
Czas wznoszenia	krótki	krótki	bardzo krótki	krótki
Czas produkcji elementu	średni	średni	krótki	długi
Ciężar konstrukcji	duży	duży	mały	średni
Atrakcyjność architektoniczna	duża	średni	mała	duża
Konieczność zabezpieczeń	ograniczona	korozja chemiczna	ogień, korozja chemiczna	ogień, zawilgocenie, korozja biologiczna
Koszty ubezpieczeń	przeciętne	przeciętne	wysokie	wysokie

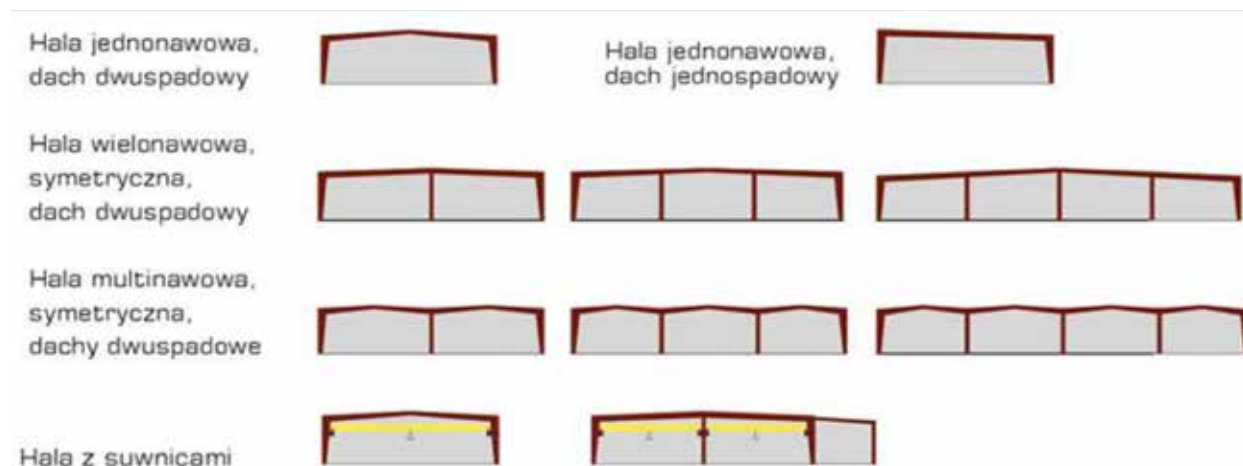
4.1. Obiekty przemysłowe typowe

Najczęściej spotykanym typem obiektu przemysłowego jest ustrój szkieletowy w postaci hali jednokondygnacyjnej. Układ geometryczny tego rodzaju budynków może być różny (tabl. 14). Z uwagi na rozwiązania materiałowe możemy wyróżnić:

- hale stalowe,
- hale betonowe (monolityczne, prefabrykowane, monolityczno-prefabrykowane),
- hale w układzie mieszanym,
- hale z drewna klejonego.

Według raportu firmy badawczej PMR *Budownictwo przemysłowe w Polsce 2014. Prognozy rozwoju na lata 2014-2019* rynek budownictwa przemysłowego w Polsce oscyluje na poziomie ok. 20 mld złotych obrotów rocznie. Połowa tej sumy jest pochłaniana przez przedsięwzięcia związane z branżą energetyczną. Na drugą część składają się projekty dotyczące wznoszenia nowych obiektów przemysłowych i magazynowych, których rocznie przybywa w Polsce ok. 3 000. Na podstawie tych danych można przyjąć, że przeciętny inwestor wydaje ok. 3,5 mln złotych na budo-

Tabl. 14.
Układy geometryczne hal



Drewno, z uwagi na łatwopalność, jest współcześnie najrzadziej wybierane przez projektantów i inwestorów. Realizacje w technologii monolitycznej zazwyczaj mogą być realizowane w okresie sezonu budowlanego, co wydłuża cykl realizacji oraz wiąże się z gorszą jakością i wyższym kosztem montażu. Wieloletnia praktyka pokazuje, że optymalnymi rozwiązaniami – oceniając je pod kątem czasowym, kosztowym i wykorzystania nośności przekrojów – są:

- hale stalowe w układzie jednonawowym – jako ramy pełnościennie z zastosowaniem profili walcowanych IPE (do rozpiętości ok. 20 m) lub blachownic (rozpiętość powyżej 20 m);
- hale stalowe w układzie jednonawowym – jako ramy z rygłem kratownicowym (gdy konieczne jest przeniesienie większych obciążeń przez dach);
- hale stalowe wielonawowe – jako system ram z więzaniem kratowym, blachownicowym;
- hale żelbetowe prefabrykowane w układach jedno- i wielonawowych – z dźwigarami prostymi, jednospadowymi, dwuspadowymi.

wę własnej hali. Budżet ten pozwala – przy założeniu standardowych obciążeń normowych, prostych warunków gruntowych, typowych wymogów użytkowych oraz braku szczególnych wymogów odporności ogniowej – sfinansować obiekt o kubaturze 30 000 m³. Przy module konstrukcyjnym 6 m pozwala to zaprojektować budynek o wymiarach 40 m x 90 m i średniej wysokości 9 m, w którym są dwie nawy – każda o rozpiętości 20 m.

Zatem na jaki materiał powinien się zdecydować klient – na stal czy żelbet? Niezmiennie głównymi kryteriami decydującymi o wyborze rozwiązania konstrukcyjnego hal są: czas budowy oraz cena. Przeanalizujemy zatem te dwa podstawowe, szczególnie istotne dla inwestorów czynniki.

1) Czas montażu

Niektórzy klienci trwają w mylnym przekonaniu, że obiekty projektowane w konstrukcji stalowej montuje się szybciej od żelbetonowych. Tymczasem przeciętny czas wznoszenia hali o powierzchni 6 000 m² w tech-

nologii prefabrykacji żelbetowej trwa średnio tylko 2 tygodnie bez względu na porę roku (możliwość montażu w warunkach zimowych do -20°C). W odróżnieniu od stali nie mamy tutaj połączeń spawanych. Jest to technologia przyjazna środowisku, energooszczędna, redukująca ilość hałasu i kurzu na placu budowy.

2) Cena

Analizując głębiej zagadnienie kosztów, można dojść do wniosku, że w halach kluczowe dla ostatecznej ceny inwestycji jest rozwiązanie przez projektanta konstrukcji dachu. Porównajmy zatem jej koszt w wariantach: a) stalowa i b) prefabrykowana, dla standardowego przypadku i obiektu o rozpiętościach opisanych jak wyżej.

A. KONSTRUKCJA STALOWA:

tonaż i cena konstrukcji głównej dachu:
 $19 \div 22 \text{ kg stali/m}^2 \times 6 \text{ zł/kg stali} = 114 \div 132 \text{ zł/m}^2$

ŁĄCZNIE: 114 ÷ 132 zł/m²

B. KONSTRUKCJA ŻELBETOWA PREFABRYKOWANA:

tonaż* i cena konstrukcji głównej prefabrykowanej dachu:

$0,042 \div 0,050 \text{ m}^3 \text{ betonu/m}^2 \times 2000 \div 2200 \text{ zł/m}^3$
 $= 84 \div 110 \text{ zł/m}^2$

tonaż i cena konstrukcji stalowej, uzupełniającej (tężniki, stężenia):

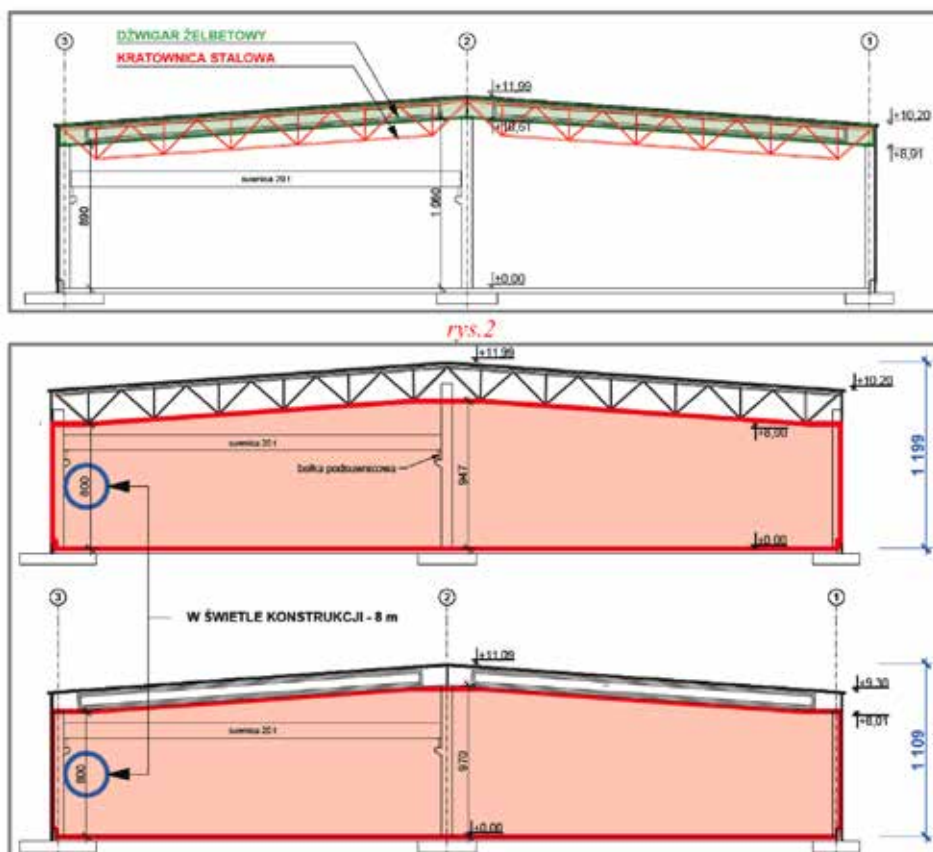
$1,2 \text{ kg stali/m}^2 \times 6 \text{ zł/kg stali} = 7,2 \text{ zł/m}^2$

ŁĄCZNIE: 91,2 ÷ 117,2 zł/m²

* tonaż uwzględnia zwiększone obciążenia: $0,60 \text{ kN/m}^2$ pokrycie dachu, $0,90 \text{ kN/m}^2$ śnieg, $0,50 \text{ kN/m}^2$ instalacji

Jak widać, rozwiązania znajdują się na tym samym poziomie cenowym. Jednak – jak powiedział Warren Buffett – *cena jest tym, co płacisz. Wartość jest tym, co otrzymujesz*. Na pierwszy rzut oka w obu wariantach klient wydaje tyle samo i dostaje produkt o takich samych właściwościach. Nic bardziej mylnego. Dla hal o rozpiętościach naw 20-25 m możliwa redukcja wysokości dźwigara strunobetonowego względem dźwigara kratowego to ok. 30-35%. Oznacza to, że w tym samym obiekcie, w którym zainstalowano dźwigar stalowy o wysokości 2 m, dźwigar żelbetowy będzie zajmował 1,20 m. Ponadto konstrukcja żelbetowa nie wymaga stosowania żadnych dodatkowych zabiegów, aby zapewnić odporność R120 dla słupów i R60 dla elementów dachu. Reasumując, potencjalny inwestor, decydując się na realizację hali w technologii prefabrykowanej, dostaje w cenie:

- mniejszą o 8% kubaturę = niższe koszty eksploatacji obiektu w przyszłości (np. ogrzewanie);
- tę samą wysokość użytkową przy redukcji wysokości całkowitej budynku o ok. 1 m = o 10% mniejsza kwota przeznaczona na obudowę;
- podwyższoną ogniodporność = niższe koszty ubezpieczenia;
- większą nośność dachu = ograniczenie lub brak bezwzględnej konieczności odśnieżania i potencjalną możliwość zwiększenia obciążeń użytkowych.



Rys. 18.
 Porównanie hal
 realizowanych
 w technologii stalowej
 i żelbetowej

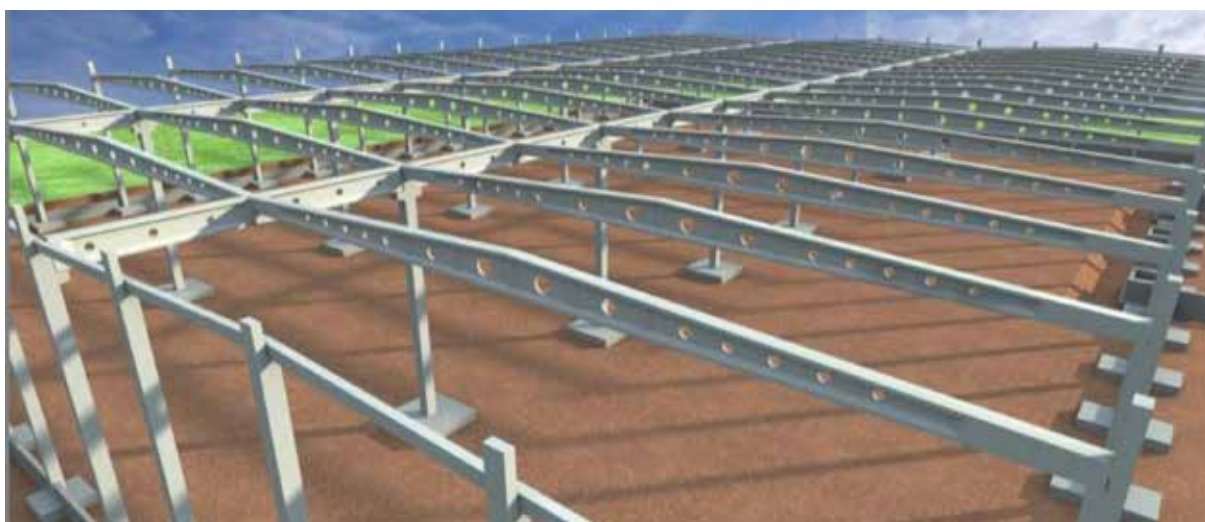
W halach o średniej rozpiętości 20-30 m dłożenie 50 kg obciążenia na metr kwadratowy powierzchni dachu nie zwiększa objętości elementów nośnych strunobetonowych. W jaki sposób może to wykorzystać potencjalny użytkownik? Oto przykłady:

- zainstalowanie świetlików opartych punktowo na płatwiach bądź dźwigarach żelbetonowych;
- podwieszenie instalacji do elementów nośnych konstrukcji dachu bądź ukrycie ich w płaszczyźnie między nimi (wykorzystanie otworów – rys. 18);
- zaplanowanie w przyszłości zainstalowania kolektorów słonecznych;
- przeniesienie urządzeń instalacyjnych (np. centrali wentylacyjnych) na dach, a w konsekwencji lepsze wykorzystanie powierzchni użytkowej budynku.

w czynnej budowie było ponad 700 000 m² w Warszawie i 640 000 m² w głównych miastach regionalnych Polski. Każdy metr kwadratowy powierzchni użytkowej to dodatkowy zysk. Nic więc dziwnego, że inwestorzy kładą nacisk na taką aranżację obiektu przez projektantów, aby uzyskać jak najwyższy wskaźnik powierzchni użytkowej.

Technologia prefabrykacji umożliwiła architektom zwiększanie rozpiętości stropów i eliminację podpór pośrednich. W obiektach, w których obciążenie użytkowe nie przekracza 5,0kN/m², wygodne jest stosowanie sprężonych płyt stropowych o rozpiętości nawet do 15 m. Użytkownik zyskuje nie tylko dodatkową powierzchnię, lecz również kubaturę, bowiem maksymalna grubość konstrukcji stropu prefabrykowane-

Rys. 19.
Wizualizacja konstrukcji halowej prefabrykowanej



Analizując powyższe dane, można pokusić się o stwierdzenie, że prefabrykacja z betonu jest uniwersalną odpowiedzią na potrzeby inwestorów planujących budowę obiektów przemysłowych typu halowego. Niezależnie od skali przedsięwzięcia korzyści ze stosowania prefabrykatów z betonu są w przypadku obiektów przemysłowych niezaprzeczalne.

4.2. Obiekty biurowe, handlowe, użyteczności publicznej i mieszkaniowe

We wszystkich czasach, niezależnie od epoki i stylu, od dzielnicy i klimatu – jedyną podstawą i racją bytu architektury była i jest organizacja przestrzeni – Edgar Norwerth

Jak podaje firma JLL (Jones Lang LaSalle), zajmująca się finansowymi i specjalistycznymi usługami w dziedzinie nieruchomości i zarządzania inwestycjami, *rynki biurowe w kraju nie zwalniają tempa*. Najemców przybywa i aktywność budowlana w tym sektorze pozostaje wysoka. W pierwszym kwartale 2015 roku

go nie przekracza dla tych warunków 50 cm. Otwory wzdużne (kanaty) płyt zmniejszają ciężar własny stropu, eliminując tym samym konkurencję w postaci standardowych rozwiązań monolitycznych. Produkcja w formach stalowych pozwala uzyskać doskonałą jakość powierzchni, co sprawia, że efekt wizualny powierzchni sufitu jest zadowalający nawet dla wymagającego użytkownika. Warto również podkreślić, że sprężenie redukuje odkształcenia stropu i w efekcie końcowym daje mniejsze ugięcia stropu, niż miałyby to miejsce przy użyciu technologii tradycyjnej, monolitycznej.

Przy większych obciążeniach użytkowych optymalnym rozwiązaniem są dwużebrowe płyty stropowe TT. Doskonale radzą sobie z rozpiętościami powyżej 20 m, jak i z obciążeniami rzędu 20-25kN/m². Powszechne jest ich stosowanie w garażach i parkingach wielopoziomowych oraz na kondygnacjach technicznych i magazynowych w obiektach niemieszkalnych. W tych pierwszych istotną zaletą prefabrykatów jest również tłumienie drgań i wibracji.

W układach szkieletowych poszczególne atuty prefabrykacji są idealnie wykorzystywane. Sprężenie pozwala na zwiększenie rozpiętości konstrukcyjnych stropów, a w konsekwencji – przeniesienie większych obciążeń na słupy i wykorzystanie nośności na ściskanie betonu.

4.3. Obiekty o szczególnych wymaganiach

Hale z suwnicami

Wprowadzenie suwnicy do układu statycznego zwiększa siły poziome konieczne do przeniesienia przez konstrukcję. Ciężar własny elementów prefabrykowanych działa korzystnie na dociążenie stóp fundamentowych, przez co objętość fundamentów jest mniejsza niż w przypadku konstrukcji stalowej. Uzyskujemy oszczędności w:

- objętości m³ chudego betonu pod fundamentami;
- objętości m³ betonu potrzebnego do wylania Stóp fundamentowych;
- objętości m³ robót ziemnych – wykopy i zasypki.

Hale z antresolami, ścianami i pomieszczeniami wewnątrz obiektu

We współczesnych halach stosuje się zazwyczaj posadzki o grubości 16-20 cm ze zbrojeniem rozproszonym, które zdolne są przenieść obciążenia do 50 kN/m². Umożliwia to w przyszłości wykonanie antresoli opartej wewnątrz na posadzce i na zewnętrznych słupach konstrukcji głównej. Wiąże się to zazwyczaj z niewielką zmianą siły ściskającej, którą ma przenieść słup żelbetowy, oraz z poprawą pracy stóp fundamentowych na zginanie. Powierzchnia betonowa jest uniwersalna, jeśli chodzi o ukształtowanie połączeń zarówno z elementami stalowymi, jak i monolitycznymi czy prefabrykowanymi. W takim przypadku eliminujemy z dodatkowych kosztów:

- dodatkowe elementy konstrukcyjne;
- dodatkowe fundamenty.

Warto zwrócić uwagę na:

- a) realizację ścian przeciwpożarowych w przyszłości -> brak kosztów zabezpieczenia konstrukcji głównej;
- b) realizację ścian działowych w postaci ścian murybranych lub płyt obudowy -> nie do każdego profilu stalowego zamontujemy te ściany bezproblemowo. W przypadku żelbetu powierzchnia jest płaska, co umożliwia bezproblemowe kotwienie.

Obiekty przemysłowe – branża spożywcza

Konstrukcje prefabrykowane słupowo-ryglowe doskonale sprawdzają się w obiektach o podwyższonych wymaganiach higieniczno-sanitarnych. Dwuteowe profile stalowe, stosowane jako słupy nośne oraz blachownice, posiadają tę wadę, że na ich półkach mogą gromadzić się nieczystości i kurz. Elementy prefabrykowane żelbetowe nie wymagają dodatkowych powłok malarskich i konserwacji, a ich kształt umożliwia bezproblemowe utrzymanie czystości w obiektach. Inwestor oszczędza na:

- przeprowadzaniu okresowych konserwacji (odświeżanie powłok malarskich itd.);

- obudowie profili stalowych celem zabezpieczenia ich przed zabrudzeniami.

Obiekty przemysłowe – branża biochemiczna

Trwałość elementu z betonu z uwagi na korozję i agresywne oddziaływania (chemiczne, wywołane ścieraniem, spowodowane zamrażaniem/rozmarzaniem, karbonatyzacją, chlorki) uzyskuje się poprzez dobranie odpowiedniego składu betonu i odpowiedniej grubości otuliny zbrojenia. Ewentualne dalsze zwiększenie trwałości można uzyskać dzięki zastosowaniu ochrony powierzchniowej betonu. Minimalne klasy wytrzymałości określone w normie PN-EN 206:2014-04: *Beton – Wymagania, właściwości, produkcja i zgodność* nie stanowią wyzwania dla prefabrykacji, w której dominują klasy C35/45 i C50/60, a przypadki stosowania elementów z betonu klasy C90/105 są w Polsce również znane.

Hale o dużych rozpiętościach

Z uwagi na transport, jak i ciężar elementów dla obiektów o rozpiętości powyżej 50 m zaleca się stosowanie konstrukcji stalowych, które mogą mieć różnorodną postać (strukturalną, łukową, ciągnową, wstępnie sprężoną itd.). Warto jednak odpowiedzieć sobie na pytanie, gdzie spotykamy się z potrzebą elementów o takiej długości. Dotyczy to bowiem głównie obiektów:

- o charakterze sprzedażowym (hale wystawowe, targowe, handlowe);
- przeznaczonych na cele publiczne (sportowe, widowiskowe);
- w sektorze przemysłowym – w produkcji specjalistycznej (przemysł lotniczy, stoczniowy).

Nie są to jednak inwestycje prowadzone na masową skalę. W większości takich przypadków prefabrykacja może być zatem uniwersalnym środkiem do osiągnięcia celów inwestora. O tym, że można wznosić obiekty o dużych rozpiętościach z wykorzystaniem prefabrykatów z betonu, świadczy realizacja, w której wykorzystano sprężone dźwigary o długości 42,55 m i ciężarze 42 t.

4.4. Ochrona przeciwpożarowa

W raportach technicznych bardzo często podnosi się kwestia konkurencyjności konstrukcji betonowych względem stalowych (np. projekt Fire Safe Europe realizowany w ramach ogólnoeuropejskiej strategii ochrony zdrowia i mienia) w przypadku konieczności spełnienia wyższych wymogów pożarowych. Dla obiektów produkcyjnych i magazynowych, zgodnie z *Rozporządzeniem Ministra Infrastruktury z dnia 12 kwietnia 2002 r. w sprawie warunków technicznych, jakim powinny odpowiadać budynki i ich usytuowanie* decydującym czynnikiem o klasyfikacji odporności ogniowej budynku jest wielkość parametru Q_d (gęstości obciążenia ogniowego). Obliczany jest on indywidualnie dla każdej nowo powstającej lub rozbudowywanej inwestycji w zależności od rodzaju



Fot. 29.
Dźwigary o długości 42,55 m i ciężarze 42 t

produkowanych i magazynowanych materiałów. Poza klasą E istnieje konieczność zabezpieczania głównej konstrukcji nośnej tak, by spełniała wymagania klas od R30 do R240. Jak wpływa to na cenę obiektu?

1) Konstrukcja stalowa

Cena standardowej konstrukcji stalowej, zabezpieczonej powłoką antykorozyjną wymaganą dla klasy C2 wraz z montażem, wynosi średnio 5,80-6,40 zł/kg. Dopłata z tytułu zabezpieczenia ognioochronnego (powłoka malarska) to:

- dodatkowe 1,50-2,00 zł/kg konstrukcji w przypadku konieczności osiągnięcia R30;
- dodatkowe 3,00-4,00 zł/kg konstrukcji w przypadku konieczności osiągnięcia R60.

Oznacza to, że koszt całości konstrukcji wzrasta odpowiednio o 25-40% w pierwszym i aż o 50-80% w drugim przypadku.

Zabezpieczenie stali powyżej R60 wiąże się z koniecznością stosowania innych, indywidualnie wycenianych rozwiązań w postaci:

- obudowy z płyt ognioodpornych;
- zastosowania farb pięcniejących;
- zastosowania natrysków.

2) Konstrukcja żelbetowa

Dla słupów zachodzi konieczność dotożenia dodatkowych siatek zbrojeniowych do elementu dopiero przy wymogu R240. W pozostałych przypadkach zazwyczaj (z uwagi na wymiary przekroju) warunki ochrony przeciwpożarowej są spełnione. W przypadku elementów belkowych i stropowych osiągnięcie poszczególnych klas odporności wiąże się ze spełnieniem warunków dotyczących kształtu przekroju i otuliny. Nie stanowi to więc dodatkowego kosztu dla inwestora, a konstrukcja nie wymaga dodatkowych zabiegów na etapie eksploatacji.

Należy również zwrócić uwagę na fakt, iż skutki pożaru są znacznie szybsze do usunięcia w przypadku obiektów żelbetowych. Stal charakteryzuje się dużą odkształcalnością pod wpływem ognia. Po uplastycznieniu ciężko użytkować taki obiekt – w praktyce konstrukcja nadaje się do rozbiórki lub wymiany całych elementów. Żelbetowe elementy poddane obciążeniu wysoką temperaturą w skutek jej oddziaływania wykazują z reguły jedynie odpryskiwanie otuliny. Jeśli ich nośność po przeliczeniu nie uległa drastycznemu obniżeniu obiekt może w pełni funkcjonować a wykonywana jest jedynie naprawa powierzchniowa w ograniczonym zakresie.

Tab. 15.
Właściwości niezabezpieczonych materiałów w pożarze

Niechroniony materiał budowlany	Wytrzymałość ogniowa	Palność	Udział w obciążeniu ogniowym	Szybkość wzrostu temperatury w przekroju	Samoistna (Naturalna) ochrona przeciwpożarowa	Możliwość naprawy po pożarze	Ochrona dla osób i strażników
Drewno	niska	wysoka	duży	bardzo mała	bardzo mała	zero	mała
Stal	bardzo mała	zero	zero	bardzo dużo	mała	mała	mała
Beton	wysoka	zero	zero	mała	duża	duża	duża

PARTNERZY



Z recenzji Prof. dr hab. inż. Andrzeja Cholewickiego:

„Podjęta przez Stowarzyszenie Producentów Betonów inicjatywa jest niezwykle cenna, bowiem w Polsce od kilku lat nie ukazała się obszerniejsza publikacja książkowa poświęcona prefabrykacji. Zapotrzebowanie na taką pozycję jest bardzo duże. Obserwacja rozwoju sytuacji w przodujących technologicznie krajach Europy wskazuje, że udział prefabrykacji w rynku budowlanym stale rośnie. Opiniowana publikacja wypełnia lukę informacyjną.

Atutem publikacji jest fakt, że zespół autorski stanowią niemal wyłącznie specjaliści osadzeni, na co dzień w przemyśle, ich widzenie problematyki to rzeczywistość poparta praktyką.

Czy Zeszyt nr 2 rozwija trzy nadrzędne hasła postawione w odniesieniu do współczesnej prefabrykacji to jest: jakość, trwałość, różnorodność? W moim przekonaniu odpowiedź jest twierdząca.

W Polsce m.in. wskutek kłopotów z prefabrykacją dużych rozpiętości, w tym konstrukcji sprężonych, które wystąpiły w drugiej połowie XX wieku odwrócono się do prefabrykacji konstrukcji szkieletowych a szczególnie właśnie tych sprężonych. Był to oczywisty błąd, który teraz wspólnymi siłami naprawiamy, między innymi propagując takie publikacje jak ten Zeszyt 2.]”

Prof. dr hab. inż. Andrzej Cholewicki



Stowarzyszenie Producentów Betonów
02-829 Warszawa, ul. Mączyńskiego 2
tel. 022 643-64-79, fax 022 643-78-41
www.s-p-b.pl; e-mail:biuro@s-p-b.pl