

# Betonowe prefabrykaty zespolone

## – przykład zastosowania w kompleksie biurowym

Dr inż. Jacek Zygmunt, Wydział Budownictwa, Inżynierii Środowiska i Architektury, Politechnika Rzeszowska

### 1. Wprowadzenie

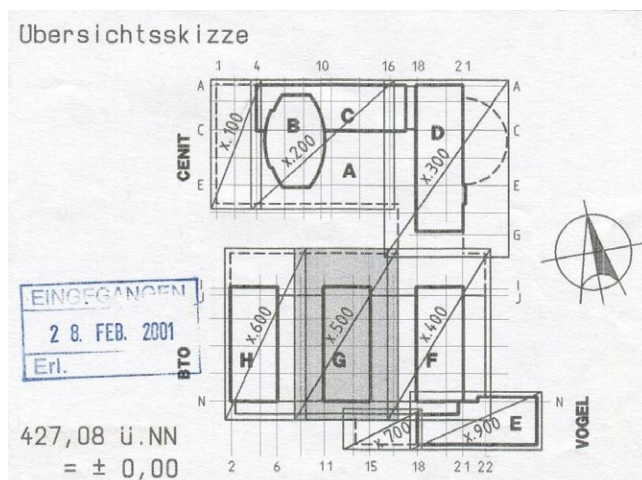
Prefabrykacja betonowa jest znana w polskim budownictwie kubaturowym od dziesięcioleci. Była stosowana w różnych rodzajach budynków oraz z różną intensywnością. Ogólnie ujmując, wpływała na to najpierw polityka gospodarcza kraju i wspieranie prefabrykacji, z czasem użytkownika, nabywanie wiedzy o jej trwałości oraz rozwój technologii monolitycznej, stanowiącej alternatywę. Obecnie natomiast ważne są efekty ekonomiczne i widać wzrost stosowania prefabrykacji w budynkach mieszkalnych i hotelach, ale już w zupełnie innej technologii i jakości. W artykule przedstawiono prefabrykację zastosowaną w obiekcie biurowym – elementy zespolone ścienne i stropowe oraz ofertę na polskim rynku w tym zakresie.

### 2. Opis zrealizowanego obiektu

Obiektem był kompleks biurowy w Stuttgarcie. Wybudowano go w latach 2000–2001. Autor pełnił tam funkcję majstra, potem kierownika robót. Było to 7 budynków, liczących 5–9 kondygnacji nadziemnych (rys. 1). Pod budynkami był wspólny podziemny parking – dwa poziomy pod całym kompleksem i trzeci pod połową wyższą (rys. 2). Fundament – płyty denne posadowione na dwóch poziomach. Ponadto, niższą połowę kompleksu łączyły kondygnacje nadziemne (3 kondygnacje między budynkami F i G, 2 między G i H) oraz 6-kondygnacyjny łącznik (budynki E–H). Budowa była duża, jak na obiekt biurowy. Lokalizacja w zabudowie miejskiej,



Rys. 1. Zespół obiektów biurowych – wizualizacja inwestora [1]



Rys. 2. Zespół obiektów biurowych – szkic orientacyjny oznaczeń [3]



Rys. 3. Zespół obiektów biurowych – widok obecny [4]

mieszanej mieszkalno-biurowo-handlowej. Według informacji inwestora – powierzchnia działki to 11 tys. m<sup>2</sup> (1,1 ha), powierzchnia użytkowa obiektów 36 000 m<sup>2</sup>, liczba miejsc parkingowych w garażu podziemnym 327, liczba miejsc postojowych na poziomie gruntu 83. Biura przewidziano do wynajmu (za wyjątkiem 5% p.u.), miejsce pracy miało tam znaleźć ponad 800 osób [2]. Wielkość obiektów – przykładowo wymiar wyższej samodzielnej części budynku G to 13,2x32,4 m (428 m<sup>2</sup>) [3]. Autor realizował stan surowy (roboty szalunkowe, betoniarские i murarskie), pozostali wykonawcy – roboty ziemne, zbrojarskie, elewacyjne, instalacyjne i wykończeniowe. Niemniej główne roboty stanu surowego wymagały

bardzo dobrej współpracy z kierownictwem budowy i innymi wykonawcami, głównie robót zbrojarskich. Czas budowy „pod klucz” wyniósł 8 kwartałów, w tym stan surowy (szalowanie, zbrojenie, betonowanie, roboty murarskie) – 5 kwartałów. W okresie głównego natężenia robót betoniarskich (3 kwartały), prace te wykonywało 33 cieśli i 20 zbrojarzy. Budowę obsługiwały 4 żurawie wieżowe, a ich pracę koordynowano z powodu dużego obciążenia. Obecny wygląd obiektów pokazano na rysunku 3.

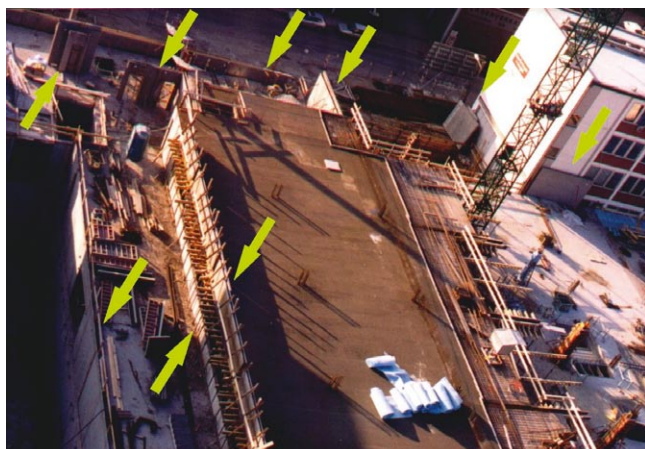
### 3. Zastosowane elementy prefabrykowane zespolone

#### 3.1. Elementy ścienne

W obiektach kompleksu możliwie dużo ścian konstrukcyjnych zaprojektowano z elementów prefabrykowanych zespolonych. Kondygnacje podziemne – dominowała w nich technologia monolityczna i były to ściany zewnętrzne, szachty wentylacyjne zewnętrzne i wewnętrzne, klatki schodowe, szyby windowe, rampa wjazdowa dla samochodów. Ściany zewnętrzne i szachty zewnętrzne były z betonu wodoszczelnego (po stanie surowym poziom wody gruntowej przywrócono powyżej trzeciej kondygnacji podziemnej). Prefabrykowane były ściany pomieszczeń technicznych. Kondygnacje nadziemne – dominowały prefabrykaty i były to ściany zewnętrzne oraz ściany wewnętrzne tworzące pomieszczenia techniczne. Pod ciągami okiennymi stosowano elementy niższe. Ściany monolityczne – były to klatki schodowe, szyby windowe oraz rampa wjazdowa.

W obiektach wykonano również dużo ścian wypełniających. Była to technologia murowana (ściany wewnętrzne w kondygnacjach podziemnych – pomieszczenia magazynowe, techniczne) i prefabrykowana zespolona (wewnątrz – przegrody w pomieszczeniach technicznych w częściach podziemnych i nadziemnych budynków, na zewnątrz – przegrody w szachtach wentylacyjnych).

Zasada prefabrykacji ściennej zespolonej – elementy po ustawieniu dodatkowo się zbroi i wypełnia mieszanką betonową. Zbrojenie to łączy elementy ze sobą. Liczne elementy ścienne w przykładowym fragmencie budowy pokazano na rysunku 4. W części E widać zamontowane elementy pełne i z otworami drzwiowymi oraz elementy niższe w strefie okien (przez całą długość budynku). W części F widać długą ścianę w poziomie parteru. W poziomie I piętra oraz rozpoczynanego II piętra – długie ciągi elementów niższych, w strefie okien, wzdłuż całej długości budynku. Widać też elementy tymczasowo składowane (przy budynku istniejącym oraz w budynku E). Niektóre elementy były duże i ciężkie – oparty o budynek był jednym z większych 4,8x2,9x0,25m, co przy grubości ścianek 6 cm daje ciężar aż 3,9 tony. Do montażu takich elementów potrzebne są większe żurawie. Mogą one podać wspomniany element na odległość około 30 m. Na tej budowie nośność żurawia była wystarczająca, chociaż w wielu przypadkach montaż



Rys. 4. Prefabrykowane elementy ścienne zespolone w różnych fazach montażu (przykład w budynkach E i F) [5]

odbywał się na granicy ich możliwości. Dobór żurawi oraz optymalne ich rozmieszczenie stanowi ważną kwestię organizacyjną na etapie planowania budowy.

Budowa elementu to dwie betonowe warstwy boczne, ze szczeliną między nimi, połączone zbrojeniem przestrzennym. Grubość warstwy to około 6 cm, szerokość szczeliny zależy od grubości elementu. Stosowano elementy o grubości 25 cm i szczelinie 13 cm. Elementy niższe (ciągi podokienne) miały grubość 20 cm i szczelinę 8 cm. Powierzchnie zewnętrzne są gładkie i równe. Wewnątrz wbudowane są dwa haki dla żurawia. Element o grubości 25 cm pokazano na rysunku 5.

Na zdjęciu widać konieczność obniżenia elementów o kilka centymetrów (w tym przypadku biegnących pod podciągami). Wynikało to z błędnej ich wysokości i okazało się dosyć uciążliwą poprawką, szczególnie po częściowym zaszalowaniu podciągu. Można było wcześniej je obciąć, przy lepszym dostępie, ale przy dużym natężeniu robót czasem decyzje są spóźnione.

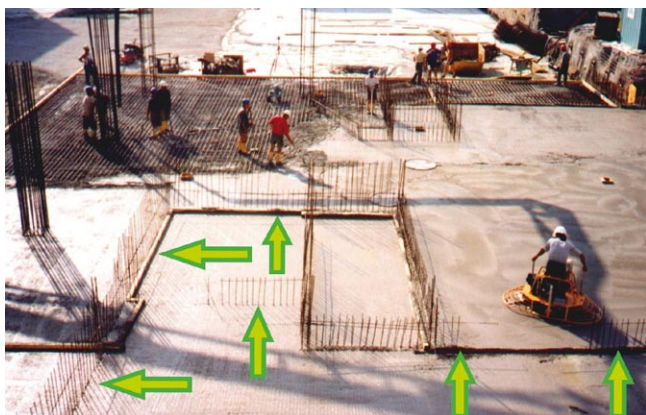
Każdy element ścienny postawiony w docelowym miejscu żuraw ubezpieczał aż do ustawienia spodu i zamocowania dwóch pojedynczych podpór. Po zwolnieniu żurawia element pionowo podporami. Pionowanie powtarzano po zabetonowaniu. Podpory stosowano typowe od deskowań ściennych, ale ze stopkami na końcach. Stopki przykręcano wkrętami do betonu



Rys. 5. Prefabrykowany element ścienny po ustawieniu (przykład na granicy budynków D i F) [5]

od desekowań ściennych, do wywierconych otworów. W oczeniu autora, do czasu zabetonowania istnieje pewne ryzyko co do bezpieczeństwa. W warunkach budowy, szczególnie dużej z wysokimi żurawiami, jest zagrożenie uderzenia w element i przewrócenia go na strop bądź poza budynek. Na opisywanej budowie nie zdarzyło się to, ale ściany należy możliwie szybko betonować. Podpory można odkręcić po 2–3 dniach od betonowania (beton osiąga około 30% wytrzymałości). Przed ustawieniem elementu usuwano nadmierne nierówności stropu, aby nie podwyższać ustawienia elementu. Obecnie niektórzy producenci poprawili bezpieczeństwo oraz czas montażu, wbudowując metalowe gniazda na śruby do mocowania podpór. Niektórzy stosują rozwiązania pośrednie, w postaci gniazd drewnianych. Betonowano pojemnikiem z rękawem. Pompa nie była zasadna ze względu na mniejszą ilość mieszanki oraz wolniejsze podawanie niż w ścianach monolitycznych. Ponadto betonowano do poziomu około 0,7 m od góry, z uwagi na umieszczanie pionowego zbrojenia łączącego. Przykładowo, do zabetonowania ściany o długości 10 m i wysokości 2,9 m wystarczyło 2,7 m<sup>3</sup> mieszanki betonowej. Ciekłość mieszanek była taka jak do pomp (dosyć wąska szczelina, obecność zbrojenia przestrzennego, lepsze wypełnienie szczelin na spodzie). Mieszanke zagęszczano buławami wgłębnymi. Elementy podokienne były węższe (szczelina 8 cm) – tu używano pojemnik mniejszy (0,5 m<sup>3</sup>) i węższe buławy. Do zabetonowania ściany o długości 10 m i wysokości 1,0 m wystarczyło niecałe 0,75 m<sup>3</sup> mieszanki, ale to betonowanie przebiegało wolno.

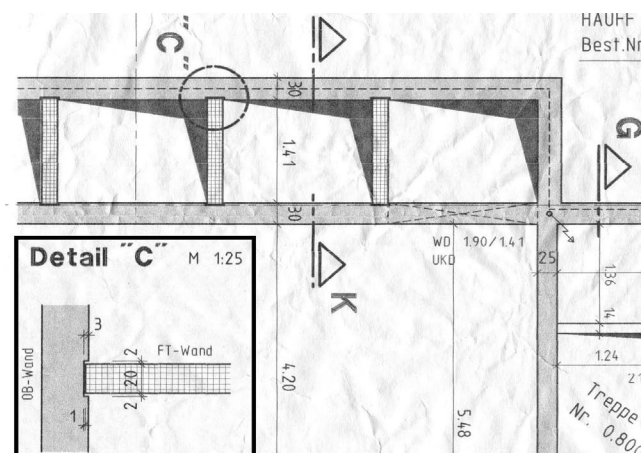
Przed zabetonowaniem dozbrajano styki z elementami sąsiednimi. Na dole – element ustawiano na pionowym zbrojeniu, jednorzędowym, o średnicy około 12 mm i wysokości do 1,0 m, wcześniej zabetonowanym przy wykonywaniu płyty dennej lub stropu (rys. 6). Styk z sąsiednim elementem prefabrykowanym – zbrojenie przestrzenne z dwóch siatek, pręty o średnicy około 6 mm, siatki o szerokości około 0,4 m, na całą wysokość elementu. Styk z sąsiednim elementem monolitycznym (ściana bądź słup) – zbrojenie odginane typu COMAX. Na górze – zbrojenie analogiczne jak na dole,



**Rys. 6.** Pojedyncze rzędy zbrojenia łączącego prefabrykaty ścienne z płytą denną (przykład w budynku F) [5]



**Rys. 7.** Betonowanie stropu z prefabrykowanym szalunkiem wieńca (przykład w ostatnim stropie łącznika budynków G i H, wieńiec po prawej stronie zdjęcia) [5]



**Rys. 8.** Prefabrykaty ścienne jako elementy wypełniające (przykład w jednym z szachtów wentylacyjnych) [3]

montowane i betonowane razem ze stropem. Beton monolityczny odpowiednio zabezpiecza to zbrojenie przed korozją. Ciekawym rozwiązaniem było to, że elementy ścian zewnętrznych stanowiły szalowanie krawędzi stropu (jeden z boków elementu był wyższy o grubość stropu). Bardzo usprawniało to roboty szalunkowe, a przy stosowanych stropach (opisanych dalej) nie utrudniało robót zbrojarskich. Betonowanie stropu z takim szalunkiem wieńca pokazano na rysunku 7. Elementy wypełniające – były zbudowane i montowane podobnie jak elementy nośne. Różnica polegała na uproszczeniu, że nie stosowano łączącego zbrojenia bocznego. Elementy wsuwano w pionowe bruzdy w ścianach monolitycznych. Wykonanie bruzd nie było pracochłonne, w ten sposób zrezygnowano z dosyć drogiego zbrojenia łączącego typu COMAX. Takie elementy w szachtach były montowane na wysokości nawet 3 kondygnacji. Przekładało się to na oszczędność zbrojenia, czasu robót oraz lepszą jakość powierzchni. Betonony te pozostawały bez obróbki powierzchni i były widoczne z chodników dla pieszych. Przykład takich ścian pokazano na rysunku 8.

Montaż elementów odbywał się „z kół”, bądź z miejsc tymczasowego składowania. To zależało od dostępności żurawia

i gotowości miejsca montażu. Jeden transport zawierał 6–10 elementów, zależnie od ich wielkości. W celu sprawnego rozładunku, producent dostarczył na budowę stojaki do składowania elementów. W stojaku mieścił się cały transport. Była to dla budowy znacząca korzyść. Z uwagi na dostępność żurawia montaż był organizowany głównie po południu.

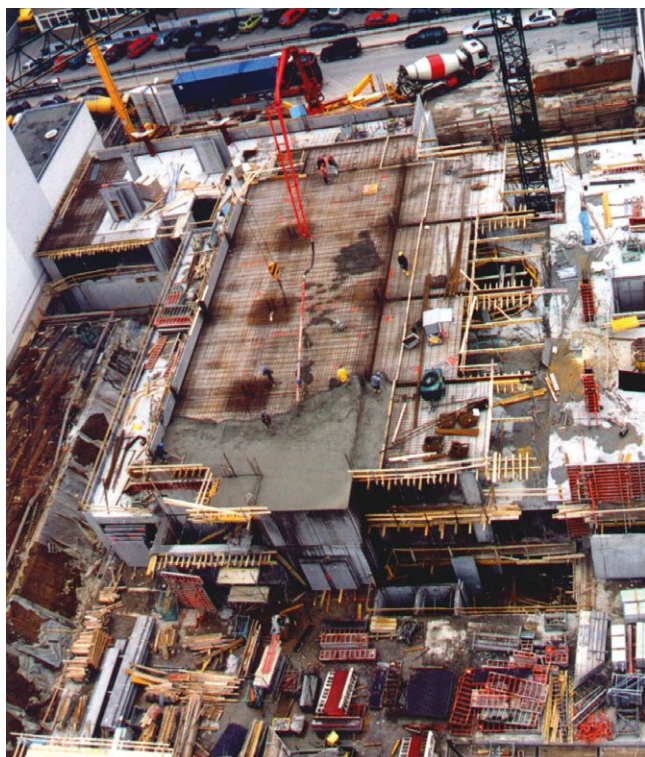
Porównując tempo montażu prefabrykatów do szalunków systemowych, można wykazać (obserwacje autora), że montaż prefabrykatu jest 2–3-krotnie dłuższy, niż pojedynczego dużego elementu szalunku przestawnego (z zamocowaniem podpór lub z montażem śrubunku). Wynika to z większego ciężaru, w efekcie dłuższego podnoszenia, przemieszczania i ustawiania przez żuraw, większej ostrożności z uwagi na BHP, wiercenia otworów montażowych w ścianie i przykręcenia do niej podpór. Z kolei w wersji tradycyjnej potrzeba również zamontować elementy o mniejszych wymiarach, nadstawki, zastawki na końcach odcinka roboczego, założyć dodatkowe usztywnienia. Można porównać czas wykonania na przykład prostego odcinka ściany bez otworów o długości 10 m i wysokości 2,7 m. W obydwu wersjach brygada może być 3-osobowa (przy prefabrykach jedna z osób tylko obsługuje zapinanie). Montaż jednego prefabrykatu wynosi 20 minut (tab. 1). Ponadto, zwykle był konieczny tymczasowy rozładunek – przestawienie elementu to około 5 min (w przypadku stojaka – 3 min, oparcie pod ukosem lub ustawienie pionowe z przywiązaniem – 5 min, rzadziej ustawienie w pionie i przykręcenie podpór – 10 min). Odcinek 10 m składa się z 4 elementów, montaż ze składowaniem tymczasowym to 100 min (4 elementy x (20+5) min). Z kolei wersja tradycyjna, gdzie każda strona to 4 elementy duże i 4 nadstawki, wymaga około 6 godzin (otworzenie z montażem podpór – 2,0 godz., zamknięcie ze śrubunkami – 2,0 godz., wykonanie i montaż zastawek czołowych i retyfikacja – 2,0 godz.).

Obserwacje autora wskazują, że montaż prefabrykatów był znacznie szybszy niż szalunków. Ponadto, znacznie mniej było robót zbrojarskich i w efekcie trwały one krócej. Czas betonowania był podobny – w prefabrykach było mniej mieszanki, ale jej układanie i zagęszczanie było utrudnione. Łącznie oszczędzano czas i szybciej realizowano kolejne

**Tabela 1.** Czas montażu jednego elementu ściennego prefabrykowanego (obserwacje własne)

Czynność *	Czas *
1. Zapięcie i podniesienie elementu ze stojaka	2,0 min
2. Przeniesienie i postawienie w docelowym miejscu	2,0 min
3. Dokładne ustawienie spodu	3,0 min
4. Wywiercenie 4 otworów i przykręcenie podpór (użycie 2 wiertarek i 2 wkrętarek)	6,0 min
5. Odpięcie haków	2,0 min
6. Pionowanie za pomocą podpór i jednoczesny powrót żurawia po nowy element	5,0 min
<b>Razem:</b>	<b>20,0 min</b>

\* bez składowania tymczasowego, zbrojenia oraz betonowania



**Rys. 9.** Ograniczone miejsce do składowania materiałów (przykład przy obiektach E i F) [5]

kondygnacje. Można oszacować zysk czasu np. dla jednej kondygnacji nadziemnej w budynku G. Z dokumentacji wynika, że długość ścian prefabrykowanych to około 70 mb. Zatem skrócenie czasu tylko dla robót szalunkowych to 30 godzin (260 min x 7 odcinków). Ponadto, połowa ścian prefabrykowanych miała różne otwory drzwiowe bądź okienne, czy wręcz długie ciągi elementów międzyokiennych. W takich przypadkach korzyść czasowa z wersji prefabrykowanej była jeszcze większa.

Ważne było również to, że zmniejszono liczbę szalunków ściennych na budowie. Jest to bardzo przydatne przy ograniczonym placu budowy. Taki właśnie problem był w tym przypadku. Z każdej strony budowane obiekty były blisko granicy działki, co widać na rysunku 9.

Główne spostrzeżenia na temat zastosowanych elementów zawarto w tabeli 2. Z punktu widzenia wykonawcy robót można stwierdzić, że w sytuacji dużego obiektu biurowego i bardzo ograniczonego placu budowy zastosowana prefabrykacja ścienna była zasadna.

### 3.2. Elementy stropowe

W obiektach wszystkie stropy wykonano z prefabrykatów zespolonych, kondygnacje podziemne i nadziemne. Prefabrykat to płyta betonowa, grubości około 6 cm, podobna jak w ścianach. Stanowi dolną warstwę stropu z gładką powierzchnią spodu. Są w niej zabetonowane dolne pręty przestrzennego zbrojenia, które w transporcie i montażu ma funkcję usztywniającą, a po zabetonowaniu stropu dolne i górne pręty są częścią zbrojenia konstrukcyjnego. Przed

**Tabela 2.** Zalety i wady z zastosowania ścian prefabrykowanych zespolonych (obserwacje własne)

Zalety	Wady
<ul style="list-style-type: none"> <li>- <b>mniejsza liczba szalunków na budowie</b> (bardzo przydatne przy małej ilości miejsca);</li> <li>- <b>szybsze wykonywanie ścian</b> (niewiele czynności w miejsce bardziej pracochłonnej technologii monolitycznej);</li> <li>- <b>mniejsza liczba pracowników</b> (do robót wystarczy jedna brygada 3-osobowa);</li> <li>- <b>krótsze wykorzystanie żurawia</b> (montaż prefabrykatów jest krótszy niż szalunków przestawnych);</li> <li>- <b>żuraw można wykorzystać w odpowiednim czasie</b> (montaż w godzinach popołudniowych);</li> <li>- <b>korzyści przy szalowaniu stropu</b> (różna wysokość boków prefabrykatu stanowi gotowy szalunek wieńca stropu);</li> <li>- <b>lepsza jakość powierzchni dla robót wykończeniowych</b> (brak defektów miejscowych, większa równość powierzchni).</li> </ul>	<ul style="list-style-type: none"> <li>- <b>do montażu żuraw musi mieć odpowiedni udźwig</b> (elementy ważyły nawet 3,9 t);</li> <li>- <b>chwilowa ograniczona dostępność żurawia w czasie intensywnych innych robót</b> (montaż elementu trwa do 20 min);</li> <li>- <b>w przypadkach koniecznych składowanie tymczasowe</b> (przeładunek zajmuje żuraw, czas, brygady, wymaga dodatkowego miejsca);</li> <li>- <b>poprawki, gdy element ustawiono za wysoko, a strop powyżej jest prefabrykowany</b> (podkucie stropu poniżej lub obniżenie górnej krawędzi elementu);</li> <li>- <b>ryzyko pod względem bezpieczeństwa</b> (do czasu zabetonowania ryzyko uderzenia w element lub podporę i przewrócenia go);</li> <li>- <b>obróbka wykończeniowa styków</b> (uzupełnienie zaprawą szczelin pionowych i poziomych).</li> </ul>
<p>Nie analizowano <b>kosztu</b> opisanej technologii, w tym cen i szczegółowych nakładów czasowych.</p>	

zabetonowaniem strop jest dozbrajany, głównie w strefie zbrojenia górnego, ale również na betonie prefabrykatu. Elementy te nazywano „Filigranplatten”. Fragment pokazano na rysunku 5.

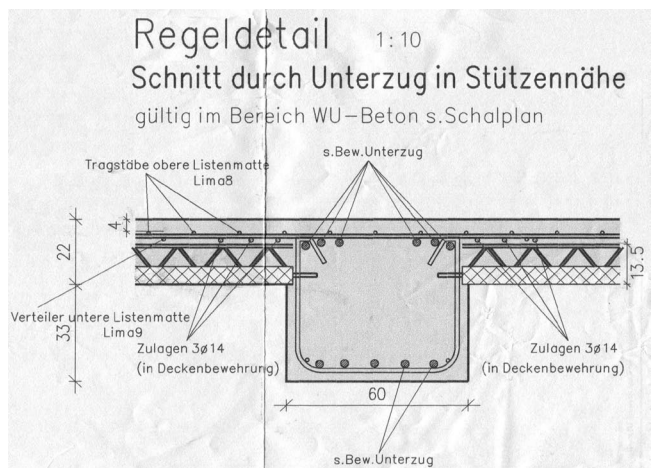
Przy transporcie i montażu haki zaczepia się za zbrojenie przestrzenne, w czterech punktach. Elementy dłuższe zapina się w miejscach odpowiednio oddalonych od końców, aby nie nastąpiło złamanie płyty. Największe płyty miały wymiary 7,7x2,4 m.

Przykłady stropów z prefabrykatów widać na zdjęciu z obiektami E i F, w niższej części kompleksu (rys. 9) oraz z obiektami B, C i D, w wyższej części kompleksu (rys. 10). Ciekawostką było to, że w budynku B kształt prefabrykatów dostosowano do krzywoliniowego brzegu stropów.

Płyty w miejscu docelowym układano na liniowych podparciach montażowych, prostopadłych do kierunku płyt, wcześniej zniwelowanych. Rozstaw ciągów nie przekraczał około 2 m. Były to typowe drewniane dźwigary szalunków stropowych, układane na stemplach stropowych. Stropy kondygnacji podziemnych opierały się na ścianach i podciągach. Podobnie w kondygnacjach nadziemnych, łączących



**Rys. 10.** Prefabrykowane stropy obiektów (przykład w budynkach B, C i D w wyższej części kompleksu) [5]



**Rys. 11.** Przekrój stropu w miejscu oparcia na podciągu [3]

budynki F i G oraz G i H. Wzdłuż ścian również ustawiano ciąg montażowy, aby poziom płyt był precyzyjny. Stropy miały grubość 22 cm, w tym beton monolityczny 16 cm. Fragment dokumentacji ze stropem opartym na podciągu pokazano na rysunku 11. Natomiast w kondygnacjach nadziemnych stropy opierały się na ścianach i bezpośrednio na słupach (w kondygnacjach nadziemnych budynków nie projektowano podciągów). Stropy w tym przypadku miały grubość 28 cm, w tym beton monolityczny 22 cm.

Duża część zbrojenia była układana w strefie górnej stropu. W celu przyspieszenia robót większość tego zbrojenia miała formę sprefabrykowaną – siatki z jednokierunkowym zbrojeniem nośnym o średnicy 12 mm, połączonym zbrojeniem montażowym. Siatki były w dwóch wersjach – rozstaw zbrojenia głównego 100 oraz 150 mm. Miały różne wymiary – zgodne z dokumentacją, szerokość na ogół 3,0 m, długość w kierunku zbrojenia nośnego do 12,0 m. Siatki przyspieszyły roboty zbrojarskie. Jednak do ich układania używano żurawia i w sytuacji dużego obciążenia robotami blokowało to pracę innych brygad, głównie szalunkowych. Zbrojenie stropu w rejonie słupa, w wersji bez podciągu widać na rysunku 12. W takim



**Rys. 12.** Zbrojenie układane na prefabrykację stropu w rejonie słupa bez podciągu (przykład w budynku F) [5]

miejscu zbrojenie układano z prętów w strefie górnej i dolnej stropu. Dopiero w tle widać zbrojenie z siatek. W prefabrykacji było umieszczone dodatkowe zbrojenie na przebiegu w postaci

trzcieni. Na zdjęciu zarejestrowano też błąd – zbyt wysokie trzcienie, równe z wierzchem stropu. Projektant zdecydował w tej sytuacji o miejscowym pogrubieniu betonu. Strop dobiera się też w stykach płyt i w strefach wieńców (pręty proste). Największa płyta (7,7x2,4x0,06 m) ważyła 2,9 tony. Większe żurawie taki ciężar podają na odległość ponad 35 m i jest to dosyć daleko. Niemniej jednak, należy to zaplanować. Montaż odbywał się „z kół” lub z miejsca składowania tymczasowego, podobnie jak przy ścianach. Rozładunek na takie miejsce nie był długi, a układanie „na sztapel” nie wymagało dużo miejsca.

Na podstawie obserwacji autora można porównać zakres i pracochłonność robót w wersjach prefabrykowanej i monolitycznej. W przypadku stropu z podciągami szalowanie i zbrojenie podciągów w obydwu technologiach odbywa się tak samo. Różnice są przy stropie właściwym. Roboty szalunkowe są znacznie mniej pracochłonne przy prefabrykach, gdyż elementy te są szalunkiem dla „nadbetonu”. Natomiast wersja monolityczna wymaga ułożenia dodatkowych belek podporowych na ciągach głównych, a na nich płyt ze sklejki. Szalowanie wieńców też jest korzystniejsze w prefabrykacji (gotowy szalunek). Roboty zbrojarskie – przy prefabrykacji jest utrudnione układanie niektórego zbrojenia w dolnej strefie. Mimo to pracochłonność jest dużo większa w wersji monolitycznej – przesądza o tym niemal 2-krotnie więcej zbrojenia do ułożenia oraz to, że w prefabrykacji większość zbrojenia miała postać siatek. Zatem nakład pracy w robotach szalunkowych i zbrojarskich przemawia na korzyść prefabrykacji. Czas betonowania jest podobny.

Można porównać czas robót szalunkowych dla stropu w obu technologiach, np. dla kondygnacji nadziemnej w budynku G. Jest to strop bez podciągów 13,2x30,2 m. W wersji prefabrykowanej szalunek wieńca jest gotowy (w kondygnacji niżej są głównie prefabrykowane ściany i elementy nadokienne). W dokumentacji przewidziano 24 płyty. Z układu słupów i płyt wynika, że potrzeba 7 ciągów podpór, w kierunku wzdłuż obiektu. Brygada 3-osobowa potrzebuje na to około 8 godzin. Lepiej, gdy płyty

układa zespół 4 osób (jedna z nich obsługuje tylko zapinanie). Czas ułożenia jednej płyty to 9 minut (tab. 3). Załóżmy, że 50% to montaż „z kół” i 50% z tymczasowym składowaniem (dodatkowe przestawienie to 6 minut). Zatem ułożenie płyt ze składowaniem to około 5 godzin (24 elementy x (9+3) min). W wersji prefabrykowanej potrzeba szalować styki słup-strop i część styków ściana-strop (około 10%). Cztery osoby wykonują to przez 3 godziny. W wersji monolitycznej na ogół nie ma takiej potrzeby (grubość sklejki 2,0 cm zasłania większość ewentualnych szczelin). Roboty szalunkowe trwają łącznie 16 godzin (8+5+3 godziny). Z uwagi na dostępność żurawia płyty układano głównie po południu (podobnie jak przy ścianach).

**Tabela 3.** Czas ułożenia jednego elementu stropu prefabrykowanego (obserwacja własna)

Czynność *	Czas *
1. Zapięcie i uniesienie elementu nad „sztapel”	2,0 min
2. Przeniesienie i ułożenie w docelowym miejscu	3,0 min
3. Dokładne przesunięcie i dosunięcie	2,0 min
4. Odpięcie haków	1,0 min
5. Powrót żurawia po nowy element	1,0 min
<b>Razem:</b>	<b>9,0 min</b>

\* bez składowania tymczasowego, zbrojenia oraz betonowania

W wersji szalunków ze sklejki potrzebny jest dodatkowy czas na drugą warstwę dźwigarów (8 godzin pracy brygady 3-osobowej) i na ułożenie sklejki (16 godzin pracy brygady 4-osobowej), w miejsce 5 godzin układania prefabrykatów. Szalowanie wieńców (zakładając ściany również monolityczne) – też 16 godzin pracy brygady 4-osobowej. Zatem szalowanie stropu tradycyjnie trwa około 35 godzin dłużej (8+16-5+16 godz.). Przy wielu takich stropach jest to dla budowy różnica znacząca. Ponadto, w przypadku prefabrykatów roboty zbrojarskie również trwają krócej.

Dzięki prefabrykacji ponownie zmniejszono liczbę elementów szalunkowych na budowie z problemem miejsca (rys. 9). Korzyścią była również lepsza jakość powierzchni dla robót



**Rys. 13.** Strop prefabrykowany w 6-kondygnacyjnym łączniku budynków E-H [5]

**Tabela 4.** Zalety i wady z zastosowania opisanych stropów prefabrykowanych (obserwacje własne)

Zalety	Wady
<ul style="list-style-type: none"> <li>– <b>znacznie szybsze wykonywanie stropów</b> (mniej czynności szalunkowych i zbrojarskich);</li> <li>– <b>mniejsza liczba elementów szalunkowych</b> (ważne przy ograniczonym placu budowy);</li> <li>– <b>mniejsza liczba pracowników</b> (do ustawiania podpór liniowych i układania elementów wystarczy jedna brygada 3 lub 4-osobowa);</li> <li>– <b>żuraw można wykorzystać w odpowiednim czasie</b> (montaż przez brygadę 3 lub 4-osobową można zorganizować w godzinach popołudniowych).</li> </ul>	<ul style="list-style-type: none"> <li>– <b>do montażu żuraw musi mieć odpowiedni udźwig</b> (elementy ważyły do 2,9 t);</li> <li>– <b>chwilowa ograniczona dostępność żurawia w czasie intensywnych innych robót</b> (montaż elementu trwa do 10 min);</li> <li>– <b>dłuższe wykorzystanie żurawia</b> (montaż prefabrykatów jest dłuższy, niż podanie elementów szalunkowych stropu tradycyjnego);</li> <li>– <b>w przypadkach koniecznych składowanie tymczasowe</b> (zajmuje żuraw, czas, brygady, wymaga dodatkowego miejsca);</li> <li>– <b>dotatkowe roboty</b> (ponieważ płyta zachodzi na ściany – szalowanie styku przy zbyt niskiej ścianie, obniżenie zbyt wysokich ścian. Ponieważ płyta nie zachodzi na słup – szalowanie styku ze słupem w wersji bez podciągągu);</li> <li>– <b>obróbka wykończeniowa styków</b> (uzupełnienie zaprawą szczelin).</li> </ul>
Nie analizowano kosztu opisanej technologii, w tym cen i szczegółowych nakładów czasowych.	

wykończeniowych, ale miało to znaczenie w kondygnacjach podziemnych oraz 6-kondygnacyjnym łączniku komunikacyjnym budynków E–H (rys. 13), gdzie nie stosowano sufitów podwieszanych. Łącznik ten to przykład stropu bez podciągów, bez ścian, na dosyć wąskich słupach, o lekkim i estetycznym wyglądzie. Widać tu również ukształtowane w prefabrykacjach gniazda na oprawy oświetleniowe, a przed zabetonowaniem ułożono węże na przewody elektryczne. Główne spostrzeżenia autora na temat zastosowanych elementów zawarto tabeli 4.

W obiekcie stosowano również inne elementy prefabrykowane zespolone (elementy ściennie nadokienne i międzyokienne, attyki na tarasach i na dachach), elementy prefabrykowane niezespolone (wszystkie biegi schodowe), zbrojenie prefabrykowane typu COMAX w różnych elementach (wersje z jednym i dwoma rzędami prętów, stosowane pojedynczo lub podwójnie, łączące elementy monolityczne, prefabrykowane i mieszane, montowane w różnym położeniu). Z uwagi na objętość tekstu, w artykule nie opisywano także sposobów przeprowadzenia instalacji.

#### 4. Podsumowanie

Artykuł dotyczy betonowej prefabrykacji zespolonej. Opisano ściany i stropy wykonane w tej technologii w kompleksie biurowym. Celem było pokazanie przykładu z oceną własną w zakresie korzyści i utrudnień technologicznych, organizacyjnych i czasowych, ważnych dla wykonawcy oraz inwestora. Nie opracowywano szczegółowych nakładów czasowo-materiałowych oraz kosztów.

Pośród zalet i wad dominowały te pierwsze, a głównie dwie – zmniejszenie liczby szalunków na budowie oraz skrócenie czasu robót. Zastosowanie prefabrykacji w celu osiągnięcia pierwszej z tych korzyści zostało wręcz wymuszone w sytuacji przewidywanego ogromnego natężenia robót, jednocześnie na siedmiu obiektach ze wspólną częścią podziemną i bardzo ograniczonego placu budowy.

Po realizacji obiektu, w artykule [6] krótko opisano m.in. zastosowane elementy zespolone. Według obserwacji autora stanowiły nowość na polskim rynku. Obecnie, po niemal

dwóch dziesięcioleciach, zmieniło się to różnie dla poszczególnych elementów.

Ściany zespolone – autor nie zaobserwował ich na budowach w kraju. Dlatego w artykule zajęły więcej miejsca, a przykład dotyczył dużego obiektu. Oferta polskich producentów to niektóre duże zakłady. Zlokalizowano 10 takich miejsc, np. [7]. Tylko duże podmioty są w stanie zainwestować w kosztowną linię produkcyjną. Ponadto, niektóre fabryki produkcję ukierunkowały na inne rodzaje ścian, dostosowane do segmentu mieszkaniowego, jako odpowiedź na potrzeby inwestorów. Oferty łatwiej znaleźć na rynku niemieckim, np. [8]. Niemniej, zdaniem autora, to interesująca propozycja. Płyty stropów zespolonych – w pierwszych latach po 2001 r. autor nie stwierdził ich na budowach, potem pojawiały się sporadycznie, a obecnie są na różnych budowach. Są w ofercie wielu producentów, nie tylko największych. Informują o nich publikacje. Badania w monografii o rynku stropów w Polsce w latach 2015–2016 [9] pokazują, że powszechność wyboru tych elementów przez krajowych projektantów wynosi 15% oraz wskazuje się na bardzo dużą ich popularność na rynku niemieckim.

Od 2001 r. wprowadzono normy na te elementy (2005 i 2007 r.), ich aktualne wersje to [10, 11].

#### BIBLIOGRAFIA

- [1] Wizualizacja inwestora LEG w miejscu budowy (archiwum własne autora)
- [2] Informacje inwestora LEG (opublikowane informacje prasowe, archiwum własne autora)
- [3] Projekt budowlany (dokumentacja robocza budowy, archiwum własne autora)
- [4] Widok rzeczywisty 3D z aplikacji GoogleEarth (obiekty: Industriestrasse 52-56, Breitwiesenstrasse 5-7, 70565 Stuttgart-Mohringen) (dostęp 27.04.2021)
- [5] Zdjęcia z budowy (archiwum własne autora)
- [6] Zygmunta J., Zastosowanie prefabrykacji na przykładach wybranych obiektów, Zeszyty naukowe Politechniki Rzeszowskiej 36/2004
- [7] [https://www.leier.pl/\(strona internetowa producenta, dostęp: 25.05.2021](https://www.leier.pl/(strona internetowa producenta, dostęp: 25.05.2021)
- [8] [http://www.eder.co.at/\(strona internetowa producenta, dostęp: 25.05.2021](http://www.eder.co.at/(strona internetowa producenta, dostęp: 25.05.2021)
- [9] Kisiółek A., Rynek systemów stropowych w Polsce. Analiza wybranych rozwiązań na przestrzeni lat 2015-2016, Wydawnictwo WWSSE, Poznań-Środa Wlkp. 2017
- [10] PN-EN 14992+A1:2012E: Prefabrykaty z betonu – Elementy ścian
- [11] PN-EN 13747+A2:2011P: Prefabrykaty z betonu – Płyty stropowe do zespolonych systemów stropowych