

W ostatniej dekadzie zbudowano w Warszawie wiele budynków biurowych o wysokim standardzie. Wśród nowych biurowców są m.in. budynki wysokie o konstrukcji stalowej z trzonem żelbetowym, np. Warsaw Trade Tower (popularnie zwany wieżowcem Daewoo, o wysokości 184 m) i budynki wysokie o całej konstrukcji żelbetowej, jak obiekt Warszawskiego Centrum Finansowego (WCF).

Budynek WCF o 34 kondygnacjach nadziemnych wraz z antresolami i 2 kondygnacjach podziemnych, o łącznej wysokości 144 m (bez anteny), oddany do użytku w roku 1999, jest jak dotąd najwyższym w kraju budynkiem o konstrukcji żelbetowej (fot. 1). Nadal buduje się i planuje budowę licznych wieżowców; przy końcu roku 2001 w fazie budowy lub przygotowania do budowy w Warszawie było przynajmniej siedem budynków o wysokości powyżej 100 metrów. Skala budownictwa wysokiego zbliża się więc do skali europejskiej, która sięga od 200 m (Wiedeń) do 260 m (Frankfurt nad Menem).

Przy wznoszeniu budynków wysokich z betonu towarowego wykonywane są następujące elementy konstrukcji:

- fundament: najczęściej jest to płyta żelbetowa o grubości od 0,8 do 2,5 m, w miejscach przegłębień grubość płyty może wynosić do 5,0 m
- ściany części podziemnej i trzonów komunikacyjnych (windy, schody)
- słupy i stropy



Fot. 1. Widok budynku Warszawskiego Centrum Finansowego o wysokości 144 m

Beton towarowy w budowie obiektów wysokich

– inne, np. płyta lądowiska dla helikopterów.

Najczęściej stosowanymi klasami betonu do wykonania wymienionych elementów są:

- płyty fundamentowe: klasa B25 do B35
- ściany: klasa B25 do B40
- słupy: klasa B35 do B55
- stropy: klasa B25 do B40.

Usytuowanie placów budów w centrum miasta wymusza stosowanie rozwiązań technologicznych uwzględniających znaczny czas transportu mieszanki betonowej z wytwórni betonu.

Płyty fundamentowe

Betonowanie płyt fundamentowych pod budynki wysokie, przy objętości jednej sekcji nawet do 2500 m³, nie sprawia trudności organizacyjnych, gdyż od kilku lat działa w regionie wiele nowoczesnych, bardzo wydajnych wytwórni betonu towarowego. Ważnym zagadnieniem jest zaprojektowanie takiego składu mieszanki betonowej, aby ilość ciepła wydzielanego podczas twardnienia betonu nie prowadziła do powstawania zbyt wysokiej temperatury w masywnym betonie. Odształcenia wywołane różnicą temperatur mogą bowiem prowadzić do powstawania zarysowań w betonie. Przy budowie wszystkich większych budynków prowadzi się więc systematyczne pomiary temperatury betonu od chwili zakończenia betonowania do momentu, gdy temperatura zacznie się obniżać, co zwykle wymaga pomiarów przez około 7 dni.

Przy projektowaniu zwykle stawia się wymagania, aby maksymalna temperatura betonu nie przekraczała 60°C, a różnica między najwyższą i najniższą temperaturą w danej chwili nie była większa niż 20°C. Wymagania mogą być spełnione przy stosowaniu cementu CEM II 32,5 lub lepiej CEM III 32,5. Przy czystych cementach portlandzkich CEM I 32,5 jest prawie pewne, że temperatura maksymalna betonu w płycie fundamentowej o grubości 1,5 m przekroczy 60°C, natomiast przy grubości 2,0 m może przekroczyć 70°C. Przykładowy skład mieszanki betonowej do wykonania płyty fundamentowej o grubości 2,2 m podano w tabelicy 1. Producentem

Tablica 1. Skład i właściwości mieszanki betonowej B35 do wykonania płyty fundamentowej o grubości 2,20 m

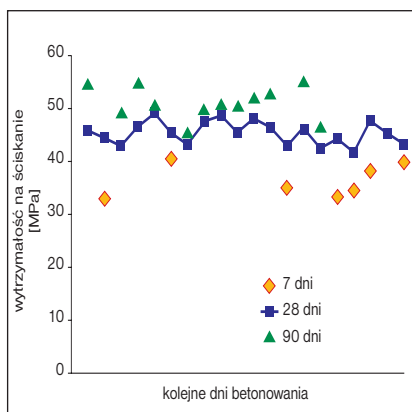
Składniki	Dozowanie kg/m ³	Właściwości mieszanki betonowej
Cement CEM III A 32,5	370	Konsystencja:
Piasek kopalny 0-2 mm	575	opad stożka
Żwir 2-8 mm Sobolewo	360	14-17 cm
Żwir 8-16 mm Sobolewo	500	Gęstość mieszanki:
Żwir 16-32 mm Sobolewo	400	2385 kg/m ³
Domieszka Lubet-C	2,2	Wskaźnik w/c:
Woda	178	0,485

mieszanki była firma PPB Budokrusz z Grodziska Mazowieckiego. Wykop pod częścią podziemną był wykonany w ścianach szczelinowych rozpartych stropami. Betonowanie płyty fundamentowej wymagało zastosowania rurociągów, dlatego przewidziano w receptie konsystencję stosunkowo ciekłą o opadzie stożka 14-17cm. Maksymalna zarejestrowana temperatura w czterech blokach betonowych wynosiła 58,9, 55,6, 55,5 i 55,3°C przy temperaturze powietrza 19-22°C. Wytrzymałość na ścislenie próbek pobranych na placu budowy wynosiła po 28 dniach średnio od 44,8 do 51,5 MPa, natomiast po 90 dniach około 58 MPa.

Mieszanka betonowa przeznaczona do wbudowania w płytę fundamentową powinna charakteryzować się nie mniejszym



Fot. 2. Widok budynku TP SA w końcowej fazie budowy



Rys.1 Wytrzymałość betonu B35 stosowanego na ściany wieżowca w Warszawie

niż 8-godz. opóźnieniem początku i końca wiązania. Pozwala to na ułożenie kolejnej warstwy mieszanki betonowej bez obawy, że warstwa ułożona wcześniej zacznie wiązać. Takie opóźnienie można uzyskać stosując domieszkę Lubet-C, która jest domieszką kompleksową, uplastyczniającą, opóźniająca wiązanie i znacznie poprawiającą wodoszczelność betonu. Dozowanie tej domieszki w przypadku betonów maszynowych powinno wynosić 0,6-1,0% masy cementu. Pożądane jest, aby założoną klasę betonu określać po 60 lub 90 dniach, co pozwala na zmniejszenie zawartości cementu i obniżenie temperatury podczas twardnienia betonu. Trzeba pamiętać, że beton w płycie fundamentowej znacznie szybciej osiąga projektowaną wytrzymałość niż beton w próbkach przechowywanych w warunkach laboratoryjnych, co wynika z różnych temperatur dojrzewania.

Ściany i stropy

Budowa ścian i stropów budynków wysokich postępuje w szybkim tempie, nawet w zimie; zwykle po betonowaniu zakończonym wieczorem już następnego dnia rano są rozbierane deskowania. Szybki obrót deskowaniami wynikający z ich wysokiej ceny wymaga, aby beton charakteryzował się szybkim narastaniem wytrzymałości. Należy więc stosować cementy CEM I 32,5 R lub CEM I 42,5 R. W jednym z budynków wysokich stosowano mieszankę betonową według podanej niżej recepty (dostawcą betonu była Hydrobudowa-1 Betoniarńia-Laboratorium z Warszawy).

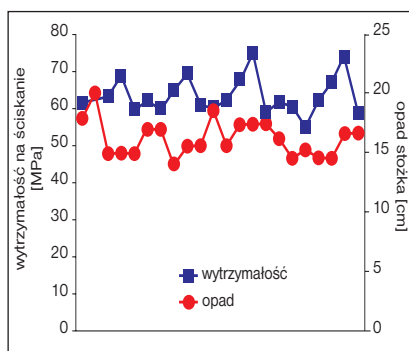
Tablica 2. Skład i właściwości mieszanki betonowej B 35, K-5, W 8, F 100

Składniki	Dozowanie kg/m ³	Właściwości mieszanki betonowej
Cement CEM I 32,5	385	opad stożka
Piasek kopalny 0-2 mm	600	14-17 cm
Żwir 2-8 mm	400	Gęstość mieszanki:
Żwir 2-16 mm	810	2380 kg/m ³
Domieszka Lubet-C	2,0	Wskaźnik w/c:
Woda	183	0,479

Wyniki badania na ściskanie próbek betonu przedstawione na rys. 1 charakteryzują się niewielkim rozrzutem wytrzymałości. Przy temperaturach otoczenia powyżej 10°C domieszka Lubet-C stosowana z cementem CEM I 32,5 R zapewnia możliwość rozebrania deskowania ścian następnego dnia. W okresach niższych temperatur wskazane jest stosowanie superplastyfikatora Skorbet lub domieszki zimowej o nazwie Zimobet 334.

Stupy

Stupy w budynkach wysokich bardzo często projektuje się z betonów klasy B45 i B50. Do wykonania ekonomicznych mieszanek betonowych można stosować cementy CEM I 32,5 R, dobrej jakości piasek kopalny, żwir 2-8 i 8-16 mm oraz superplastyfikator Skorbet. Dozowanie Skorbetu w ilości 2-2,5% masy pozwala na uzyskanie mieszanki betonowej o wskaźniku w/c poniżej 0,45 przy konsystencji bardzo ciekłej o opadzie stożka 18-22 cm. Przy budowie budynku przy ul. Królewskiej stupy wykonano z betonu B50, a dostawcą betonu była firma PPB Budokrusz (tabl. 3). Podane na rys. 2



Rys. 2. Wytrzymałość betonu B50 wg tablicy 2 stosowanego na stupy budynku wysokiego

średnie wyniki badania wytrzymałości betonu w próbkach z okresu pięciu miesięcy (październik – luty) świadczą o dużej jednorodności betonu, zwłaszcza zważając na zmienność wytrzymałości cementu 32,5 (dopuszczoną normowo) i zmienność warunków pogodowych.

Na podstawie obserwacji licznych placów budów trzeba stwierdzić, że zapewnienie stałej jakości betonu wymaga produkcji mieszanki betonowej bez żadnych korekt konsystencji na placu budowy. Dolewanie domieszek upłynniających na budowie do mieszalnika betonowozu może i powinno mieć miejsce w sytuacjach awaryjnych. Traktowanie takiej korekty jako reguły często ujemnie odbija się na jakości betonu. Niedokładne wymieszanie domieszki w mieszalniku betonowozu jest przyczyną niejednorodnej konsystencji, różnej wy-

Tablica 3. Skład i właściwości mieszanki betonowej B50 na stupy budynku wysokiego

Składniki	Dozowanie kg/m ³	Właściwości mieszanki betonowej
Cement CEM I 32,5	450	opad stożka
Piasek 0-2 mm	480	18-23 cm
Żwir 2-8 mm	490	Gęstość mieszanki:
Żwir 2-16 mm	800	2423 kg/m ³
Pył krzemionkowy łaziska	25	
Domieszka Skorbet	11,5	Wskaźnik w/c:
Woda	167	0,368

trzymałości betonu i nasiąkliwości, różnych czasów wiązania, niejednorodnego wyglądu powierzchni betonu po rozformowaniu.

Podawanie mieszanki betonowej odbywa się najczęściej przy pomocy pomp stacjonarnych. Pompowanie mieszanki betonowej na odległość powyżej 100 m, w tym często ponad 50 m w górę, jest łatwiejsze przy mieszankach betonowych z domieszkami uplastyczniającymi o konsystencji 14-17 cm. Mieszanki betonowe z superplastyfikatorem powinny mieć konsystencję o opadzie stożka 18-22 cm, ponieważ podczas pompowania zmieniają konsystencję na gęściejszą. Stosowanie pomp stacjonarnych i na stałe zamkniętych rurociągów wymaga bardzo dokładnego ich oczyszczenia po każdym betonowaniu.

W ciągu ostatnich kilku lat uzyskano znaczne praktyczne doświadczenia w zakresie projektowania oraz masowej produkcji betonów towarowych, przeznaczonych do wykonania budynków wysokich. Stabilna produkcja betonów klas do B70 przy użyciu niedrogich, krajowych surowców nie stwarza już zasadniczych trudności. Betony specjalne, stosowane w nietypowych elementach budynków wysokich, projektuje się bardzo skrupulatnie, przeprowadzając niezbędne badania doświadczalne. Np. do wykonania płyty lądowiska dla helikopterów na dachu budynku TP SA zastosowano beton specjalny B40 o wysokiej mrozoodporności i trwałości, wykonany z dodatkiem włókien szklanych odpornych na działanie alkaliów (szkło cyrkonowe). Ponieważ budynki wysokie są odpowiedzialnymi i bardzo eksponowanymi obiektami w mieście, ich wykonanie wiąże się z bardzo wysokimi wymaganiami jakościowymi, co przekłada się na ogół na większe niż zwykle zapasy bezpieczeństwa przy projektowaniu i produkcji betonu towarowego.

dr hab. inż. Michał A. Glinicki
Instytut Podstawowych Problemów
Techniki PAN w Warszawie
mgr inż. Kazimierz Ładyżyński
Hydrobudowa-1