

Michał Bołtryk
Małgorzata Lelusz

TECHNOLOGIA KONSTRUKCJI PREFABRYKOWANYCH

Białystok 2004

Recenzent: dr hab. inż. Józef Jasiczak, prof. PP

ISBN 83-88229-62-1

© copyright by: Politechnika Białostocka, 2004

opracowanie redakcyjne: Jadwiga Żukowska
opracowanie typograficzne: Andrzej A. Poskrobko
projekt okładki: Krystyna Krakówka

skład tekstów i rycin: Pracownia Składu Komputerowego i Usług Edytorskich
druk: Dział Wydawnictw i Poligrafii Politechniki Białostockiej

SPIS TREŚCI

Od autorów	5
1. Projektowanie składu i laboratoryjna weryfikacja receptury roboczej dla zadanego rodzaju prefabrykatu	6
2. Badanie wpływu dodatków i domieszek chemicznych na urabialność i inne cechy techniczne betonów wysokich wytrzymałości	23
3. Prognozowanie wytrzymałości 28-dniowej betonu w prefabrykacie	31
4. Ocena jakości wykonywanych faktur strukturalnych	38
5. Kontrola i ocena jakości wykonania prefabrykatu	44
6. Trasowanie prefabrykowanych konstrukcji stalowych	57
7. Analiza nośności złącz niepodatnych w konstrukcjach drewnianych	59
8. Analiza nośności złącz podatnych w konstrukcjach drewnianych	64
9. Sprawdzenie i ocena jakości wykonania form stalowych	68
10. Kontrola parametrów wibrowania i stosowane urządzenia wibracyjne	73
11. Ochrona przed hałasem oraz warunki BHP w zakładach prefabrykacji	78
12. Analiza przyczyn obniżenia jakości prefabrykatów w procesie produkcji	82
Przykładowe sprawozdania z zajęć laboratoryjnych	85

OD AUTORÓW

Skrypt, który oddajemy do rąk Czytelników, zawiera dwanaście ćwiczeń laboratoryjnych z technologii konstrukcji prefabrykowanych stosowanych dość powszechnie w budownictwie użyteczności publicznej, mieszkaniowym, przemysłowym, inżynierskim i ogólnym. Wyodrębnienie tych zagadnień podyktowane zostało szybkim wzrostem stosowania prefabrykowanych konstrukcji metalowych, drewnianych, a także betonowych (rozumianych jako zbrojonych i niezbrojonych).

Autorom wydawało się celowe zebranie dotychczasowej wiedzy i przedstawienie w formie praktycznej zagadnień dotyczących betonów wysokich wytrzymałości, wpływu domieszek i dodatków na właściwości betonów, projektowania i wykonania złączy w konstrukcjach drewnianych oraz wielu innych zagadnień, dotyczących aspektów przemysłowej produkcji konstrukcji inżynierskich.

Prefabrykacja, podobnie jak pozostałe rodzaje budownictwa, podlega ciągłej ewolucji. Historia prefabrykacji zaczyna się z chwilą, uświadomienia korzyści płynących z zastosowania tej metody. Oczywiście stopień sprefabrykowania konstrukcji inżynierskich jest uzależniony od możliwości technicznych i różnic kulturowych społeczeństw. Na przykład kompleks świątyn w Baalbek (I–III wiek naszej ery), piramidy egipskie (XVIII wiek przed naszą erą), klasyczne budowle greckie czy też rzymskie, wykonane były z obrabianych uprzednio elementów kamiennych, o masie przekraczającej nawet tysiąc ton, a następnie transportowane i scalane w monumentalną całość. Dalszy rozwój budownictwa prefabrykowanego będzie uzależniony od rozwoju technologii produkcji, nowych materiałów konstrukcyjnych, a także od rachunku ekonomicznego.

Podręcznik przeznaczony jest głównie dla studentów kierunku „budownictwo”. Mogą z niego korzystać również studenci innych kierunków, na których składane są zagadnienia z zakresu budownictwa prefabrykowanego. Szeroki zakres tematyczny poszczególnych ćwiczeń powinien czynić go przydatnym dla inżynierów pracujących w wytwórniach prefabrykatów, jak również w jednostkach zajmujących się projektowaniem technologii i wyposażenia technologicznego tych wytwórni.

Autorzy pragną podkreślić, że zdają sobie sprawę, iż podręcznik nie wyczerpuje wszystkich istotnych zagadnień związanych z technologią produkcji konstrukcji prefabrykowanych i że w niedługim czasie wiadomości z tego zakresu będą musiały być uzupełnione.

Na zakończenie składamy serdeczne podziękowania Panu prof. dr hab. inż. Józefowi Jasiczakowi za cenne uwagi, które wpłynęły na ostateczną wersję naszej pracy.

PROJEKTOWANIE SKŁADU I LABORATORYJNA WERYFIKACJA RECEPTURY ROBOCZEJ DLA ZADANEGO RODZAJU PREFABRYKATU

1.1. Wprowadzenie

1.1.1. Terminy i definicje (wg PN-EN 206-1:2000)

- Beton – wyrób, powstały ze zmieszania cementu, kruszywa grubego i drobnego, wody oraz ewentualnych domieszek i dodatków, który uzyskuje swoje właściwości w wyniku hydratacji cementu.
- Mieszanka betonowa – całkowicie wymieszane składniki betonu, które są jeszcze w stanie umożliwiającym zagęszczanie wybraną metodą.
- Beton stwardniały – beton, który jest w stanie stałym i który osiągnął pewien poziom wytrzymałości.
- Prefabrykowany wyrób betonowy – wyrób betonowy formowany i dojrzewający w miejscu innym niż ostateczne miejsce jego zastosowania.
- Beton zwykły – beton o gęstości, w stanie suchym, większej niż 2000 kg/m^3 , ale nie przekraczającej 2600 kg/m^3 .
- Beton wysokiej wytrzymałości – beton klasy wytrzymałości na ściskanie wyższej niż C50/60 w wypadku betonu zwykłego lub betonu ciężkiego i betonu klasy wytrzymałości na ściskanie wyższej niż C50/60 w wypadku betonu lekkiego.
- Beton projektowany (beton o ustalonych właściwościach) – beton, którego właściwości i dodatkowe cechy są podane producentowi, odpowiedzialnemu za dostarczenie betonu odpowiadającego wymaganiom właściwościom i dodatkowym cechom.
- Beton recepturowy (beton o ustalonym składzie) – beton, którego skład i użyte składniki, są podane producentowi odpowiedzialnemu za dostarczenie betonu o określonym składzie.

- Zarób – ilość mieszanki betonowej wyprodukowana w jednym cyklu operacyjnym mieszarki lub ilość rozładowywana z mieszarki o pracy ciągłej w ciągu jednej minuty.
- Kruszywo – ziarnisty wyrób mineralny odpowiedni do stosowania do betonu. Kruszywa mogą być naturalne, sztuczne lub pozyskane z wyrobu wcześniej użytego do budowy.
- Kruszywo zwykłe – kruszywo o gęstości ziaren w stanie suchym $> 2000 \text{ kg/m}^3$ i $< 3000 \text{ kg/m}^3$, oznaczone zgodnie z EN 1097-6.
- Kruszywo lekkie – kruszywo pochodzenia mineralnego o gęstości ziaren w stanie suchym $\leq 2000 \text{ kg/m}^3$, oznaczonej zgodnie z EN 1097, lub gęstości nasypowej w stanie luźnym suchym $\leq 1200 \text{ kg/m}^3$, oznaczonej zgodnie z EN 1097-3
- Kruszywo ciężkie – kruszywo o gęstości ziaren w stanie suchym $\geq 3000 \text{ kg/m}^3$, oznaczonej zgodnie z EN 1097-6.
- Cement (spoiwo hydrauliczne) – drobno zmielony wyrób nieorganiczny, który po zmieszaniu z wodą daje zaczyn, wiążący i twardniejący w wyniku reakcji hydratacji i innych procesów, który po stwardnieniu zachowuje wytrzymałość i trwałość także pod wodą.
- Całkowita zawartość wody – woda dodana oraz woda już zawarta w kruszywie i znajdująca się na jego powierzchni oraz woda w domieszkach i dodatkach zastosowanych w postaci zawieszin, jak również woda powstała z dodania lodu lub w procesie naparzania.
- Efektywna zawartość wody – różnica między całkowitą ilością wody w mieszance betonowej i ilością wody zaabsorbowaną przez kruszywo.
- Współczynnik wodnocementowy – stosunek efektywnej zawartości masy wody do zawartości masy cementu w mieszance betonowej.
- Wytrzymałość charakterystyczna – wartość wytrzymałości, poniżej której może się znaleźć 5% populacji wszystkich możliwych oznaczeń wytrzymałości dla danej objętości betonu.
- Badanie wstępne – badanie lub badania mające na celu sprawdzenie przed rozpoczęciem produkcji jaki powinien być skład nowego betonu lub grupy betonów, aby mógł on odpowiadać wszystkim określonym wymaganiom w stadium mieszanki betonowej i betonu stwardniałego.
- Oddziaływania środowiska – takie oddziaływania chemiczne i fizyczne, na które narażony jest beton, które wpływają na beton lub zbrojenie czy inne znajdujące się w nim elementy metalowe, a które nie zostały uwzględnione jako obciążenia w projekcie konstrukcyjnym.

1.1.2. Symbole i skróty (wg PN-EN 206-1:2000)

$f_{ck,cyl}$	wytrzymałość charakterystyczna betonu na ściskanie oznaczana na próbkach walcowych,
$f_{c,cyl}$	wytrzymałość betonu na ściskanie, oznaczana na próbkach walcowych,
$f_{ck,cube}$	wytrzymałość charakterystyczna betonu na ściskanie, oznaczana na próbkach sześciennych,
$f_{c,cube}$	wytrzymałość betonu na ściskanie, oznaczana na próbkach sześciennych,
f_{cm}	średnia wytrzymałość betonu na ściskanie,
$f_{cm,j}$	średnia wytrzymałość betonu na ściskanie po j dniach dojrzewania,
f_{ci}	pojedynczy wynik badania wytrzymałości na ściskanie.

1.1.3. Ustalanie wytrzymałości projektowej betonu

Skład mieszanki betonowej projektowany jest dla wytrzymałości projektowej betonu f_p . Wytrzymałość f_p związana jest z klasą wytrzymałości betonu poprzez wytrzymałość charakterystyczną f_{ck} i wytrzymałość średnią f_{cm} . Klasyfikując beton pod względem jego wytrzymałości na ściskanie, stosuje się tablicę 1.1.

Tablica 1.1.

Klasy wytrzymałości na ściskanie betonu zwykłego i betonu ciężkiego [3]

Klasa wytrzymałości na ściskanie	Minimalna wytrzymałość charakterystyczna oznaczana na próbkach walcowych $f_{ck,cyl}$ [MPa]	Minimalna wytrzymałość charakterystyczna oznaczana na próbkach sześciennych $f_{ck,cube}$ [MPa]
C8/10	8	10
C12/15	12	15
C16/20	16	20
C20/25	20	25
C25/30	25	30
C30/37	30	37
C35/45	35	45
C40/50	40	50
C45/55	45	55
C50/60	50	60
C55/67	55	67
C60/75	60	75
C70/85	70	85
C80/95	80	95
C90/105	90	105
C100/115	100	115

Do klasyfikowania można stosować wytrzymałość charakterystyczną na ściskanie określaną w 28 dniu dojrzewania na próbkach walcowych o średnicy 150 mm i wysokości 300 mm ($f_{ck,cyl}$) lub na próbkach sześciennych o boku 150 mm ($f_{ck,cube}$).

W warunkach przemysłowych podczas kontroli zgodności wytrzymałości na ściskanie powinny być spełnione kryteria podane w tablicy 1.2.

Na etapie projektowania wytrzymałość średnią wymaganą dla uzyskania wytrzymałości charakterystycznej określa się uwzględniając warunki wykonania betonu. Gdy znana jest wartość odchylenia standardowego wytrzymałości na ściskanie σ to do projektowania można przyjąć wytrzymałość średnią f_{cm} równą:

$$f_{cm} = f_{ck,cube} + 2 \sigma [MPa] \quad (1.1)$$

gdzie:

σ – odchylenie standardowe przyjmowane na podstawie doświadczeń z poprzednich kilku okresów produkcji, przy niezmiennionej jakości składników betonu i technologii wykonania.

Gdy nie jest znana wartość odchylenia standardowego σ , wówczas do projektowania przyjmuje się wytrzymałość średnią f_{cm} równą:

$$f_{cm} = f_{ck,cube} + (6 \div 12) [MPa] \quad (1.2)$$

Wytrzymałość projektowa betonu (f_p) równa jest wytrzymałości średniej, jeżeli w czasie produkcji prefabrykatu beton nie będzie poddawany specjalnym procesom zagęszczania (np. odpowietrzanie, prasowanie) i będzie dojrzewał w warunkach naturalnych. W innych wypadkach, przy ustalaniu f_p , należy uwzględnić wpływ stosowanej technologii i procesu dojrzewania przez doświadczalnie określony współczynnik β . Wówczas:

$$f_p = \beta f_{cm} \quad (1.3)$$

Wytrzymałość projektową (f_p) danej partii betonu sprawdza się minimum na 3 próbkach sześciennych o krawędzi 15 cm po 28 dniach ich dojrzewania w temperaturze $18 \pm 2^\circ C$ i wilgotności względnej powyżej 90%. Średnia arytmetyczna wyników badania wytrzymałości betonu f_{cm} obliczona z n badanych próbek nie powinna być mniejsza od wytrzymałości projektowej f_p , przyjętej do projektowania składu betonu, o więcej niż 10%, tzn. powinien być spełniony warunek:

$$\frac{\sum f_{ci}}{n} > 0,9 f_p \quad (1.4)$$

Wytrzymałość średnią f_{cm} kontroluje się wtedy, gdy beton poddany jest specjalnym zabiegom lub dojrzewanie odbywa się w innych niż naturalne warunkach. Próbkę do sprawdzenia wytrzymałości średniej należy pobierać jednocześnie z próbkami do sprawdzania wytrzymałości projektowej oraz należy zapewnić im warunki formowania i dojrzewania takie jak ma beton w prefabrykacie.

Do sprawdzenia wytrzymałości charakterystycznej betonu, według PN-EN 206-1:2000, wykorzystuje się wyniki badania próbek pobieranych do sprawdzania wytrzymałości średniej f_{cm} lub – gdy ta nie jest badana – próbek do sprawdzania wytrzymałości projektowej f_p (próbki te różnią się warunkami formowania i dojrzewania).

Wytrzymałość należy określać na podstawie badań przeprowadzonych na próbkach sześciennych o boku 150 mm lub na próbkach walcowych o wymiarach 150/300 mm, zgodnych z EN 12390-1, wykonanych z pobranej, zgodnie z EN 12350-1, mieszanki betonowej i pielęgnowanych zgodnie z EN1290-2.

Do oceny wytrzymałości można stosować próbki formowane o innych wymiarach oraz dojrzewające w innych warunkach, pod warunkiem, że z wystarczającą dokładnością ustalono i udokumentowano relacje z warunkami normowymi. Przy braku innych wskazań, wytrzymałość na ściskanie próbek do badania oznaczana jest po 28 dniach. W szczególnych przypadkach może istnieć konieczność określenia wytrzymałości na ściskanie w wieku wcześniejszym lub późniejszym niż 28 dni (np. dla masywnych elementów konstrukcyjnych) lub po przechowywaniu w warunkach specjalnych (np. obróbka cieplna).

Wytrzymałość charakterystyczna powinna być równa lub większa niż minimalna wytrzymałość na ściskanie dla określonej klasy wytrzymałości betonu na ściskanie (patrz tablica 1.1.)

Gdy co najmniej dwie próbki do badania są wykonane z jednej próbki mieszanki betonowej, a zbadane wartości różnią się więcej niż 15% od średniej, wówczas wyniki te należy pominąć, chyba że analiza danego przypadku nie wykaże racjonalnego powodu, uzasadniającego pominięcie pojedynczego wyniku badania.

Tablica 1.2.

Kryteria zgodności dotyczące wytrzymałości na ściskanie [3]

Produkcja	Liczba „n” wyników badań wytrzymałości na ściskanie w zbiorze	Kryterium 1	Kryterium 2
		Średnia z „n” wyników (f_{cm}) [MPa]	Dowolny pojedynczy wynik badania (f_d) [MPa]
Początkowa	3	$\geq f_{ck} + 4$	$\geq f_{ck} - 4$
Ciągła	15	$\geq f_{ck} + 1,48 \sigma$	$\geq f_{ck} - 4$

Zalecane wartości graniczne dla składu oraz właściwości betonu

klasy ekspozycji																				
	zagrożenia korozją brak zagrożenia lub	korozja wywołana karbonatyzacją								korozja wywołana chlorkami				zamrażanie/rozmarzanie				środowiska chemicznie agresywne		
		woda morska				chlorki niepochozące z wody morskiej														
		X0	XC 1	XC 2	XC 3	XC 4	XS 1	XS 2	XS2	XD 1	XD 2	XD 3	XF 1	XF 2	XF 3	XF 4	XA 1	XA 2	XA 3	
maksymalne W/C	-	0,65	0,60	0,55	0,50	0,50	0,45	0,45	0,55	0,55	0,45	0,55	0,55	0,50	0,45	0,55	0,50	0,45		
minimalna klasa wytrzymałości	C12/15	C20/25	C25/30	C30/37	C30/37	C30/37	C35/45	C35/45	C30/37	C30/37	C35/45	C30/37	C25/30	C30/37	C30/37	C30/37	C30/37	C35/45		
minimalna zawartość cementu (kg/m³)	-	260	280	280	300	300	320	340	300	300	320	300	300	320	340	300	320	360		
minimalna zawartość powietrza (%)	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	4,0 ^a	4,0 ^a	4,0 ^a	-	-	-		
inne wymagania												kruszywo zgodnie z EN12620: 2000 o odpowiedniej odporności na zamrażanie/rozmarzanie				cement odporny na siarczany ^b				

1.1.4. Dobór składników mieszanki betonowej

Rodzaj i klasa wytrzymałości cement

Przy wyborze rodzaju cementu należy uwzględnić zalecane normy PN-EN 206:2000. W zależności od klasy ekspozycji należy stosować się do zalecanych wartości granicznych dla składu oraz właściwości betonu zgodnie z tablicą 1.3.

Tablica 1.3.

Zalecane wartości graniczne dla składu oraz właściwości betonu (tablica na stronie 12)

a) Gdy beton nie jest napowietrzany, jego użyteczność zaleca się badać odpowiednią metodą porównując z betonem, którego odporność na zamrażanie rozmrażanie dla danej klasy ekspozycji jest prawidłowa.

b) W przypadku, gdy SO_4^{2-} wskazuje na klasy ekspozycji XA2 oraz XA3, jest niezwykle ważne, aby stosować cement odporny na siarczany. Jeślicement jest sklasyfikowany pod względem odporności na siarczany, zaleca się stosowanie cementu o średniej lub wysokiej odporności na siarczany dla klasy ekspozycji XA2 (oraz dla klasy ekspozycji XA1, jeśli jest stosowana) oraz cementu o wysokiej odporności na siarczany dla klasy ekspozycji XA3

1.1.5. Wyznaczanie wartości wskaźnika C/W

Wartość wskaźnika C/W

$$f_p = A (C/W - a) \quad (1.5)$$

w którym:

f_p – wytrzymałość projektowa betonu [MPa],
 A , a – współczynniki zależne od wartości C/W i od jakości składników mieszanki betonowej.

- dla $C/W \leq 2,5$ współczynnik $a = 0,5$, współczynnik $A = A_1$,
- dla $C/W > 2,5$ współczynnik $a = -0,5$, współczynnik $A = A_2$.

Wartości współczynników A_1 i A_2 podano w tablicy 1.4. Wzór powyższy jest ważny, gdy:

- wartość stosunku C/W jest nie mniejsza niż 1,2 i nie większa niż 3,2,
- porowatość mieszanki betonowej jest nie większa niż 3,6%,
- do mieszanki betonowej nie stosuje się dodatków i domieszek wpływających na zmianę wytrzymałości betonu.

W praktyce, wyznaczanie wartości C/W dla określonej wytrzymałości f_p odbywa się następująco. Zakłada się, że wyznaczona wartość C/W będzie mniejsza od 2,5 i wówczas:

$$f_p = A_1 (C/W - 0,5) \quad (1.6)$$

skąd:

$$C/W = \frac{f_p}{A_1} + 0,5 \quad (1.7)$$

A_1 odczytuje się z tablicy 1.4. dla określonego rodzaju kruszywa i przyjętej klasy wytrzymałości cementu.

Tablica 1.4.

Wartości współczynnika A w zależności od rodzaju kruszywa i klasy wytrzymałości cementu [4]

Rodzaj kruszywa grubego	Współczynnik	Klasa wytrzymałości cementu		
		32,5	42,5	52,5
Naturalne	A_1	18,0	21,0	23,0
	A_2	12,0	14,5	15,0
Łamane	A_1	20,0	24,0	26,0
	A_2	13,5	16,0	17,5

Jeżeli uzyskana wartość C/W jest większa od 2,5, to należy ją wyznaczyć ponownie stosując inne wartości współczynników A i a , czyli:

$$f_p = A_2 (C/W + 0,5) \quad (1.8)$$

skąd:

$$C/W = \frac{f_p}{A_2} - 0,5 \quad (1.9)$$

A_2 odczytuje się z tablicy 1.4.

Wyznaczona wartość C/W nie powinna być mniejsza niż:

- 1,6 – dla betonów narażonych na stały dostęp wody i działanie mrozu,
- 1,8 – dla betonów o wymaganej wodoszczelności.

1.1.6. Sprawdzenie urabialności mieszanki betonowej

O urabialności mieszanki betonowej decyduje głównie zawartość ziaren poniżej 0,125 mm i zawartość cementu. Graniczne objętości tych składników, w zależności od sposobu zagęszczania i rodzaju konstrukcji, podano w tablicy 1.5.

Tablica 1.5.

Graniczna objętość ziaren poniżej 0,125 mm i cementu, w zależności od sposobu zagęszczania i rodzaju konstrukcji [4]

Sposób zagęszczania	Rodzaj konstrukcji	Największa objętość zaprawy Z [dm ³ /m ³]	Najmniejsza objętość absolutna sumy ziaren poniżej 0,125 mm i cementu [dm ³ /m ³]
Wyłącznie mechaniczny	konstrukcje żelbetowe i betonowe oraz masywne o najmniejszym wymiarze przekroju większym od 0,5 m i przy stosowaniu kruszywa o wielkości ziaren do 63 mm	450	70
	konstrukcje i wyroby sprężone	500	80
Mechaniczny lub ręczny	przeciętne konstrukcje, wyroby betonowe i żelbetowe przy stosowaniu kruszywa o wielkości ziaren do 32 mm	550	80
	konstrukcje sprężone, żelbetowe i betonowe przy stosowaniu kruszywa o wielkości ziaren do 16 mm oraz elementy cienkościenne o grubości poniżej 6 cm	600	95

1.1.7. Ustalanie punktu piaskowego i składu ziarnowego kruszywa

Stosunek wagowy kruszywa grubego do piasku waha się zwykle od 1:1 do 3,5:1, co odpowiada zawartości piasku w mieszance kruszyw (punkt piaskowy) od 50 do 22%. W praktyce budowlanej najczęściej stosowane są mieszanki o stosunkach wagowych 2:1 (żwir : piasek) lub 1,5:1 (kruszywo łamane : piasek). Ogólnie punkt piaskowy zależy od takich czynników, jak:

- maksymalna wielkość ziaren kruszywa grubego (grubsze kruszywo – mniejszy *pp*),
- miąższość piasku (piasek drobniejszy – mniejszy *pp*),
- rodzaj kruszywa grubego (kruszywo łamane – większy *pp*),
- ilość cementu w mieszance betonowej (większa ilość *C* – mniejszy *pp*),
- wartości stosunku *C/W* w mieszance betonowej (wyższy *C/W* – mniejszy *pp*),
- konsystencja mieszanki betonowej (konsystencje suchsze i rzadsze od konsystencji plastycznej – większy *pp*).

Najkorzystniejszą ilość piasku w mieszance kruszywa należy ustalić doświadczalnie, uwzględniając warunki transportu mieszanki betonowej i warunki formowania prefabrykatów.

W praktyce, jeżeli należy zmieszać kruszywo drobne KD, zawierające *pp*₁ % piasku, z mieszanką żwirowo-piaskową ZP o ilości piasku *pp*₂ %, w celu uzyskania mieszanki o zadanym punkcie piaskowym *pp* %, można obliczyć stosunek wagowy ZP/KD ze wzoru:

$$\frac{ZP}{KD} = \frac{pp_1 - pp}{pp - pp_2} \quad (1.10)$$

1.1.8. Ustalanie gęstości pozornej kruszywa

Projektując skład mieszanki betonowej, należy znać gęstość pozorną kruszywa, w której uwzględnione są naturalne pory zawarte wewnątrz ziaren kruszywa. Przy braku danych szczegółowych można przyjąć:

- dla kruszywa naturalnego (żwiru i piasku) $\rho_k = 2,65 \text{ g/cm}^3$,
- dla kruszywa bazaltowego $\rho_k = 2,9 \div 3,0 \text{ g/cm}^3$.

Stosując mieszankę kruszyw o różnej gęstości, należy obliczyć średnią gęstość pozorną mieszanki z uwzględnieniem zawartości wagowej lub procentowy kruszyw składowych:

$$\rho_k = \frac{K_1 + K_2 + \dots + K_n}{\frac{K_1}{\rho_{k1}} + \frac{K_2}{\rho_{k2}} + \dots + \frac{K_n}{\rho_{kn}}} \quad (1.11)$$

gdzie:

- K_1 – procentowa zawartość kruszywa o gęstości ρ_{k1} ,
- K_2 – procentowa zawartość kruszywa o gęstości ρ_{k2} ,
- K_n – procentowa zawartość kruszywa o gęstości ρ_{kn} .

Ponieważ przy projektowaniu składu mieszanki betonowej metodą trzech równań przez pojęcie kruszywa rozumiane jest kruszywo drobne i grube, należy obliczać średnią gęstość pozorną kruszywa także wtedy, gdy gęstość piasku różni się od gęstości kruszywa grubego.

1.1.9. Wyznaczanie wodożądności kruszywa

Wodożądność kruszywa można ustalić drogą obliczeniową jako sumę iloczynów procentowych zawartości poszczególnych frakcji kruszywa przez odpowiadające im wskaźniki wodne. W tym celu należy wykonać analizę sitową kruszywa i korzystać z wskaźników wodnych podanych w tablicy 1.6. Wskaźniki te wyznaczone zostały dla kruszywa naturalnego otoczkowego o gęstości równej $2,65 \text{ kg/dm}^3$. W wypadku kruszywa łamanego, ze względu na jego większą powierzchnię właściwą, należy wskaźniki wodne odpowiednio powiększyć o 10-20%. Użycie kruszywa o gęstości większej od $2,65$, np. równej $2,90 \text{ kg/dm}^3$, wymaga zmniejszenia wartości podanych w tablicy wskaźników w odpowiednim stosunku np. $2,65/2,90$.

Tak wyznaczona wodożądność kruszywa jest wielkością przybliżoną i trzeba ją sprawdzić poprzez ocenę prawidłowości uzyskanej konsystencji mieszanki betonowej.

Tablica 1.6.

Wskaźniki wodne poszczególnych frakcji kruszywa (według Bolomeya)

Frakcja [mm]	Wskaźniki wodne w dm^3 dla konsystencji (wg Vebe) [dm^3]				
	V0	V1	V2	V3	V4
0-0,125	0,151	0,188	0,227	0,264	0,303
0-0,25	0,118	0,146	0,176	0,205	0,235
0-0,5	0,094	0,117	0,141	0,164	0,188
0,125-0,25	0,080	0,100	0,120	0,140	0,160
0,25-0,5	0,054	0,067	0,080	0,094	0,108
0,5-1,0	0,039	0,048	0,058	0,068	0,077
1-2	0,029	0,036	0,043	0,050	0,058
2-4	0,022	0,027	0,032	0,038	0,043
4-8	0,017	0,021	0,026	0,030	0,034
8-16	0,013	0,017	0,020	0,024	0,027
16-32	0,011	0,013	0,016	0,019	0,022
32-63	0,009	0,011	0,013	0,016	0,018

1.1.10. Wyznaczanie ilości składników mieszanki betonowej metodą trzech równań

Wyznaczanie ilości składników mieszanki betonowej przy pomocy układu trzech równań, będących matematycznym zapisem warunków technologicznych, którym musi odpowiadać mieszanka betonowa lub otrzymany z niej beton. Są to:

- warunek wytrzymałości betonu:

$$f_p = A (C/W - a) \quad (1.12)$$

- warunek konsystencji mieszanki betonowej:

$$W = C w_c + K w_k \quad (1.13)$$

gdzie:

w_c – wodożądność cementu przyjęta jako stała równa 0,23 dm³/kg (według Bolomey'a),
 w_k – wodożądność kruszywa [dm³/kg];

- warunek szczelności mieszanki betonowej:

$$\frac{C}{\rho_c} + \frac{K}{\rho_k} + W = 1000 \quad (1.14)$$

gdzie:

ρ_c – gęstość cementu przyjęta jako równa 3,1 kg/dm³,
 ρ_k – gęstość pozorna kruszywa [kg/dm³].

We wszystkich zależnościach C , K , W oznaczają odpowiednio ilości cementu, kruszywa i wody [kg/m³].

1.1.11. Sprawdzanie urabialności mieszanki

Obliczoną objętość zaprawy (cementu C , piasku P i wody W) w zaprojektowanej mieszance:

$$Z = \frac{C}{\rho_c} + \frac{P}{\rho_p} + W \quad [\text{dm}^3/\text{m}^3] \quad (1.15)$$

oraz sumę objętości ziaren mniejszych od 0,125 mm i cementu:

$$\frac{C}{\rho_c} + \frac{P_{<0,125}}{\rho_p} + W \quad [\text{dm}^3/\text{m}^3] \quad (1.16)$$

należy porównać z wartościami w tablicy 1.5.

W wypadku uzyskania zbyt dużej ilości zaprawy w mieszance betonowej i jednocześnie przy dużej ilości ziaren drobnych należy zmniejszyć punkt piaskowy kruszywa oraz dla odpowiednio zmniejszonej wodożądności kruszywa ustalić ponownie skład mieszanki betonowej i sprawdzić jej cechy.

Zbyt mała objętość drobnych cząstek wymaga zwiększenia ilości zaczynu w mieszance betonowej, np. przez przyjęcie cementu o niższej klasie lub ustalenie składu dla większej wodożądności kruszywa, bądź zastosowania bardziej miałkiego piasku lub dodatku popiołu lotnego.

1.1.12. Sprawdzenie ilości cementu w mieszance betonowej

Najmniejsze dopuszczalne ilości cementu w mieszance betonowej ustalono w zależności od warunków eksploatacji betonu. Podano je w tablicy 1.7, gdzie z – oznacza objętość zaprawy Z w 1 m³ mieszanki betonowej. Największa zawartość cementu, ze względu na możliwość wystąpienia nadmiernego skurczu betonu, nie może być większa niż:

- 550 kg/m³ – w betonach o wytrzymałości średniej równej lub większej niż 40 MPa,
- 450 kg/m³ – w innych betonach.

Tablica 1.7.

Najmniejsze dopuszczalne ilości cementu w mieszance betonowej w zależności od warunków eksploatacji betonu

Podział konstrukcji w zależności od warunków eksploatacji	Ilość cementu [kg/m ³] nie mniejsza niż	
	konstrukcje zbrojone	konstrukcje niezbrojone
Konstrukcje nienarażone na wpływy atmosferyczne	0,4 Z	0,35 Z
Konstrukcje narażone na wpływy atmosferyczne	0,5 Z	0,45 Z
Konstrukcje i wyroby narażone na stały dostęp wody i działanie mrozu	0,5 Z	0,5 Z

Niespełnienie warunku minimalnej ilości cementu wymaga zwiększenia punktu piaskowego, co spowoduje zwiększenie wodożądności kruszywa w_k i ilości cementu C , lub też wymaga zaprojektowania składu mieszanki betonowej z cementem o niższej klasie. Przy zbyt dużej ilości cementu w 1 m³ mieszanki betonowej należy sprawdzić możliwość zmniejszenia punktu piaskowego (a tym samym obniżenia w_k i C) lub zaprojektować skład mieszanki betonowej z cementem o wyższej klasie.

1.2. Cel i zakres ćwiczenia laboratoryjnego

Część 1)

Na podstawie danych technologicznych ustalić f_p , W/C i parametry urabialności mieszanki betonowej.

Dla podanych założeń technologicznych, dla zadanej klasy betonu należy kolejno:

- ustalić f_p ,
- dobrać składniki mieszanki betonowej (rodzaj i gatunek kruszywa, uziarnienie kruszywa drobnego i grubego),
- wyznaczyć C/W ,
- ustalić punkt piaskowy kruszywa,
- ustalić gęstość pozorną kruszywa,
- wyznaczyć wodożądność kruszywa,
- zaprojektować stos okruszowy,
- wyznaczyć ilość składników mieszanki betonowej,
- sprawdzić warunek urabialności,
- sprawdzić ilość cementu w mieszance betonowej.

Część 2)

Dla zaprojektowanego w części 1) betonu należy kolejno:

- wykonać mieszankę betonową,
- sprawdzić konsystencję mieszanki betonowej,
- wykonać próbki do badań wytrzymałościowych betonu na ściskanie,
- zbadać – ocenić wytrzymałość betonu na ściskanie po 28 dniach dojrzewania.

1.3. Metodyka badań

1.3.1. Sprawdzenie konsystencji mieszanki betonowej

Jeżeli ze wstępnej oceny wynika, że uzyskano założoną konsystencję, to pomiar konsystencji mieszanki betonowej należy wykonać jedną z poniższych metod:

- metodą opadu stożka, zgodnie z EN 12350-2;
- metodą Vebe, zgodnie z EN 12350-3;
- metodą oznaczania stopnia zagęszczalności, zgodnie z EN 12350-4;
- metodą stolika rozprywowego, zgodnie z EN 12350-5;
- metodami specjalnymi, uzgodnionymi pomiędzy specyfikującymi i producentem betonu do specjalnych zastosowań (np. mieszanki o konsystencji wilgotnej).

Ze względu na brak czułości powyższych metod poza pewnymi wartościami konsystencji, metody te zaleca się stosować w następujących zakresach:

- opad stożka $\geq 10 \text{ mm}$ i $\leq 210 \text{ mm}$;
- czas Vebe $\leq 30 \text{ s}$ i $> 5 \text{ s}$;
- stopień zagęszczalności $\geq 1,04$ i < 1.46 ;
- średnica rozprywu $> 340 \text{ mm}$ i $\leq 620 \text{ mm}$.

Metoda Vebe do badania konsystencji mieszanek betonowych

Tablica 1.8.

Klasy konsystencji według metody Vebe

Klasa	Czas Vebe w sekundach
V0	> 31
V1	od 30 do 21
V2	od 20 do 11
V3	od 10 do 6
V4	od 5 do 3

Formę stożkową aparatu Vebe wypełniamy w 3 warstwach mieszanką betonową w ilości co najmniej 8 dm^3 , zagęszczając każdą warstwę 25-krotnym zagłębieniem pręta. Po odsunięciu leja wyspowego, wygładzeniu powierzchni przez zatarcie, zdjęciu formy stożkowej, oparciu swobodnym płyty na mieszance, włączamy wibrator i mierzymy czas (w sekundach) potrzebny do zetknięcia się całej powierzchni płyty z mieszanką betonową. Czas ten jest miarą konsystencji mieszanki betonowej.

1.3.2. Wykonanie próbek do badania wytrzymałości betonu

Podstawową próbką do badania wytrzymałości betonu na ściskanie jest sześciąt o krawędzi 15 cm . Gdy jednak największy wymiar ziaren kruszywa przekracza 32 mm , należy stosować próbki większe – sześciąty o krawędzi 20 cm . Dopuszcza się wykonywanie próbek mniejszych – sześciątów o krawędzi 10 cm , pod warunkiem że największy wymiar ziaren kruszywa w betonie nie przekracza 16 mm .

W formie należy mieszankę betonową układać i zagęszczać w sposób możliwie zbliżony do stosowanego w warunkach produkcyjnych. Przy wibrowaniu układa się mieszankę w formie z pewnym nadmiarem, po czym wibruje tak długo, aż cała powierzchnia próbki pokryje się zaczynem cementowym. Układanie i zagęszczanie mieszanki w formach powinno być zakończone przed upływem $0,5 \text{ h}$ od chwili jej wymieszania. Po zagęszczeniu powinien pozostać nad krawędzią formy nadmiar mieszanki o wysokości około 5 mm . Nadmiar ten usuwa się liniałem metalowym dopiero po upływie od $0,5$ do 3 godzin od wykonania próbki, w zależności od konsystencji.

1.3.3. Badanie i ocena wytrzymałości betonu na ściskanie

W celu sprawdzenia wytrzymałości betonu o zaprojektowanym składzie wykonuje się minimum 3 próbki i przechowuje się je przez dobę w formach, a następnie po rozformowaniu do 28 dni w warunkach laboratoryjnych, tj. w temperaturze $18 \pm 2^\circ\text{C}$ i wilgotności względnej powyżej 90%. Próbki sześciennie umieszcza się w prasie po obróceniu ich o 90° w stosunku do kierunku formowania. Jedną z płyt dociskowych prasy musi być wyposażona w przegub, a próbka powinna być umieszczona w sposób zapewniający osiowe przyłożenie obciążenia. Pomiedzy płyty dociskowe prasy i próbkę można włożyć wyłącznie gładkie podkładki stalowe, grubości co najmniej 10 mm, o wymiarach równych wymiarowi próbki. Prędkość przyrostu obciążenia powinna wynosić $0,2 \div 0,4 \text{ MPa/s}$ przy przewidywanej wytrzymałości betonu mniejszej niż 20 MPa i $0,4 \div 0,6 \text{ MPa/s}$ przy przewidywanej wytrzymałości betonu większej niż 20 MPa. Za wynik badania przyjmuje się największe obciążenie przeniesione przez próbkę w czasie badania. Wytrzymałość próbki oblicza się dzieląc wartość tego obciążenia przez powierzchnię docisku. Wyniki badania wytrzymałości betonu na próbkach sześciennych o krawędziach 10 cm i 20 cm należy odnieść do próbki o krawędzi 15 cm, uznanej za podstawową do tego badania. W tym celu należy wytrzymałość otrzymaną na próbce $10 \times 10 \times 10 \text{ cm}$ pomnożyć przez 0,9, a na próbce $20 \times 20 \times 20 \text{ cm}$ przez 1,05. Wyniki badania ocenia się określając średnią arytmetyczną wyników wytrzymałości. Dla partii betonu zastosować można ograniczenie:

$$\frac{\sum f_{ci}}{n} > 0,9 f_p \quad (1.16)$$

Niespełnienie tego wymagania oznacza zwykle (po wykluczeniu błędu w odważaniu składników): wytrzymałość cementu zbyt małą lub inną niż przyjęta do projektowania, wartość współczynnika A dla użytego cementu i kruszywa. Projektowanie należałoby wówczas powtórzyć, wykonując jeszcze raz próbki z mieszanki betonowej o tym samym składzie (w celu wykluczenia błędów przypadkowych) oraz dodatkowo z mieszanki o większej wartości wskaźnika C/W .

LITERATURA

1. Osiecka E. Wybrane zagadnienia z technologii mineralnych kompozytów budowlanych. Wydawnictwa Politechniki Warszawskiej, Warszawa, 2000.
2. Piasta J., Piasta W. G.: Beton zwykły. Arkady, Warszawa 1997.
3. PN-EN 206-1:2000. Beton. Wymagania, właściwości, produkcja, zgodność.
4. Smirnow Maria i in.: Przemysłowa produkcja prefabrykatów. Ćwiczenia laboratoryjne. PWN, Warszawa, 1983.

Rozdział 2.

BADANIE WPŁYWU DODATKÓW I DOMIESZEK CHEMICZNYCH NA URABIALNOŚĆ I INNE CECHY TECHNICZNE BETONÓW WYSOKICH WYTRZYMAŁOŚCI

2.1. Wprowadzenie

Domieszka do betonu – składnik dodawany podczas procesu mieszania betonu w małych ilościach w stosunku do masy cementu w celu modyfikacji właściwości mieszanki betonowej lub betonu stwardniałego.

Dodatek do betonu – drobno uziarniony składnik stosowany do betonu w celu poprawy pewnych właściwości lub w celu uzyskania specjalnych właściwości.

2.1.1. Podział

Stosowanie domieszek poprawiających niektóre właściwości betonów praktykowane było od dawna. Rzymianie np. stosowali krew, tłuszcz wieprzowy, mleko i inne substancje. Dzięki dodatkowi krwi w mieszance betonowej tworzyły się pęcherzyki powietrzne podczas mieszania i beton stawał się bardziej mrozoodporny. Obecnie stosuje się środki uzyskiwane w drodze przeróbki fizykochemicznej bądź mechanicznej z materiałów tanich, a nawet często odpadowych.

Ze względu na wpływ na właściwości mieszanki betonowej czy betonu można wyróżnić następujące zasadnicze grupy domieszek i dodatków:

- polepszające urabialność mieszanki betonowej,
- regulujące wiązanie i twardnienie,
- uszczelniające,
- zwiększające mrozoodporność,
- barwiące,
- spulchniające,
- uodparniające na oddziaływania mechaniczne

Ze względu na sposób działania można wyróżnić domieszki i dodatki działające w sposób fizykochemiczny i mechaniczny. Większość cech betonów ulega zmianie w wyniku modyfikacji struktury wywołanej działaniem domieszek i dodatków. Każdy rodzaj domieszki czy dodatku zmienia kilka cech, z tym że z reguły jedną z nich szczególnie. Często polepszając wybraną cechę betonu pogarsza się

jego inne cechy. Domieszki dobiera się zatem odpowiednio do wymagań technicznych jakim musi odpowiadać beton.

Zaleca się sprawdzenie doświadczalne skuteczności działania dodatków i domieszek przy ustalaniu receptury mieszanki betonowej. Dodatki mineralne do betonu stosowanego do wykonywania obiektów przeznaczonych na stały pobyt ludzi wymagają sprawdzenia poziomu stężenia zawartości w nich naturalnych pierwiastków promieniotwórczych.

Domieszki polepszające urabialność mieszanki betonowej (uplastyczniające)

Polepszenie urabialności mieszanki betonowej polega głównie na zwiększeniu jej ciekłości przy zachowaniu dostatecznej spójności. Najskuteczniej pod tym względem działają domieszki pochodzenia organicznego z materiałów o właściwościach powierzchniowo aktywnych. Wyróżnić tu można dwie grupy:

- substancje, których działanie polega na polepszeniu zwilżalności powierzchni ziaren cementu (hydrofilne);
- substancje, których działanie polega na wprowadzeniu do mieszanki betonowej pęcherzyków powietrznych w wyniku silnego obniżenia napięcia powierzchniowego wody zarobowej (hydrofobowe).

Dodatki polepszające urabialność

Urabialność mieszanki betonowej poprawiają wymienione już domieszki plastyfikujące i napowietrzające, a ponadto dodatki drobnoziarniste, a przede wszystkim popioły lotne.

Warto zwrócić uwagę, że dodatek ten poważnie wpływa i na inne istotne cechy betonu:

- podwyższa odporność betonu na agresywne środowisko siarczanowe,
- obniża ilość cementu, gdy beton może mieć niską wytrzymałość, a musi mieć dobrą urabialność,
- poważnie zwalnia twardnienie betonu, np. przy betonowaniu dużych masywów,
- podwyższa odporność na temperaturę do 800°C.

Domieszki regulujące wiązanie

Określone przez normy wymagane charakterystyki wiązania cementu (początek, koniec i czas wiązania) dostosowane są do przeciętnie stosowanych warunków betonowania. W szczególnych przypadkach – zresztą dość częstych – zachodzi potrzeba opóźnienia i wydłużenia czasu wiązania bądź wręcz przeciwnie przyspieszenia lub nawet uzyskania natychmiastowego wiązania. Te zmiany charakterystyk wiązania nazywa się regulowaniem wiązania i można je uzyskiwać także za pomocą domieszek, co w praktyce jest często korzystniejsze niż np. regulowanie temperaturą otoczenia.

Domieszki opóźniające wiązanie

Do typowych sytuacji, gdy stosowanie domieszek opóźniających wiązanie jest celowe, należą:

- eliminowanie przerw roboczych,
- betonowanie w wysokiej temperaturze,
- potrzeba powiązania betonu układanego warstwami,
- umożliwienie rewibracji,
- betonowanie dużych masywów (zwolnienie przebiegu zjawisk egzotermicznych wiązania cementu).

Domieszki przyspieszające wiązanie i twardnienie

Ze względu na sposób działania można praktycznie wyróżnić dwie grupy domieszek przyspieszających wiązanie:

- preparaty wywołujące prawie natychmiastowe wiązanie cementu. Dodatki te poważnie obniżają wytrzymałość betonu i dlatego stosowane są tylko do małych ilości zapraw i betonów potrzebnych przy tamponowaniu rys i otworów w wypadku przeciekania wody. Do tych domieszek zalicza się szkło wodne (potasowe lub sodowe),
- preparaty, które nie wywołują gwałtownych reakcji wiązania, a jedynie skracają czas wiązania i przyspieszają okres twardnienia. Do domieszek z tej grupy należą: chlorek wapniowy i zarodniki (jako zarodników używa się uwodnionego i zmielonego cementu bądź identycznie przerobionego wapna hydratyzowanego).

Domieszki uszczelniające przeciwko przenikaniu wody

Każda domieszka, która zagęszcza strukturę prowadzi jednocześnie do podwyższenia wodoszczelności betonu. Składa się ona ze składników wypełniających pory (głównie glinka bentonitowa), ze składników upłynniających mieszankę oraz pewnej nieznacznej ilości substancji hydrofobowych, które prowadzą do pewnego napowietrzenia mieszanki.

Domieszki podwyższające mrozoodporność

Zaliczyć tu można (w kolejności skuteczności):

- domieszki napowietrzające,
- domieszki uszczelniające,
- domieszki upłynniające,
- dodatek hydrauliczny (popiół lotny).

Domieszki barwiące

Stosunkowo jasny kolor, zbliżony do białego, ma beton wykonany z cementu białego. Inne barwy można uzyskać przez dodanie do takiego betonu barwników w postaci farb mineralnych naturalnych lub sztucznych oraz barwników organicz-

nych. Można też dodawać barwniki do betonów z cementów zwykłych, uzyskuje się jednak wtedy barwy złamane.

Domieszki spulchniające

Gdy zachodzi potrzeba, aby beton, zaprawa czy też zaczyn zwiększył swoją objętość, np. dla szczelnego wypełnienia trudno dostępnej przestrzeni (obudowa tuneli, wypełnienie kanałów w konstrukcjach kablobetonowych itp.), można zamiast cementu ekspansywnego zastosować dodatek sproszkowanego aluminium.

Dodatki uodparniające na oddziaływania mechaniczne

Często zachodzi potrzeba wzmocnienia betonu ze względu na takie czynniki jak:

- ścieralność powierzchniowa,
- uderność,
- zmęczenie wywołane ciągłym drganiem.

Dla uodpornienia na ścieralność dodaje się do betonu: opiłki stalowe, rozdrobniony węgiel krzemu (karborund), korund, żużle ołowiane lub miedziane, stłuczkę porcelanową. W większości stawianych wymagań wystarczy zastosować droбноziarniste kruszywo bazaltowe lub granitowe.

Gdy beton ma się charakteryzować wysoką odpornością na uderzenia i drgania, korzystniejsze są dodatki o kształcie wydłużonym. Z powodzeniem stosuje się wtedy wióry żeliwne lub krótkie odcinki drutu stalowego ($\phi = 0,15$ do $0,3$ mm; $l = \text{ok. } 25$ mm) w ilości $1,5$ do $2,3\%$ objętości betonu. Beton z dodatkiem ciętego rozproszanego w masie betonu jest szczególnie odporny na zmęczenie i jednocześnie na ścieranie. Beton z dodatkiem ciętego betonu nazwano drutobetonem.

Do betonów, które mają cechować się tylko podwyższoną odpornością na zmęczenie stosuje się dodatki o charakterze włóknistym, jak włókno szklane, azbestowe oraz włókno z tworzyw sztucznych.

2.1.2. Charakterystyka i zasady stosowania domieszek uplastyczniających

Domieszka do betonu jest to składnik, poza cementem, kruszywem i wodą, dodawany do mieszanki betonowej bezpośrednio lub z wodą zarobową. Przyjęto umownie, że za domieszki uważa się składniki stosowane w małej ilości, do 5% masy cementu. Domieszka stosuje się przede wszystkim wtedy, gdy nie można uzyskać wymaganych właściwości mieszanki i betonu przy prawidłowo zaprojektowanym składzie lub ze względów ekonomicznych. Z uwagi na charakter oddziaływania na cechy technologiczne oraz strukturę mieszanki betonowej i betonu, domieszki uplastyczniające zaliczane są do korygujących strukturę tworzywa. Są one najczęściej stosowane w przemysłowej produkcji prefabrykatów w celu: zwiększenia stopnia ciekłości i poprawy urabialności mieszanki betonowej bez zwiększania ilości zaczynu cementowego, polepszenia wyglądu prefabrykatów, zmniejszenia zużycia cementu bez zmiany konsystencji mieszanki. Wybór domieszki i jej optymalna ilość w mieszance powinny być ustalone w wyniku wielo-

krotnych prób laboratoryjnych oraz badań sprawdzających w warunkach produkcyjnych.

Szczegółową charakterystykę oraz zasady stosowania podają wytyczne wykonania betonów z domieszkami i świadectwa dopuszczenia domieszek i dodatków do stosowania w budownictwie.

Stosowanie domieszek uplastyczniających nie wymaga w zasadzie specjalnego doboru składników mieszanki betonowej. Nie dopuszcza się cementów hutniczych i glinowych oraz innych zawierających w swym składzie więcej niż 20% dodatku hydraulicznego do klinkieru.

Przy wykonywaniu mieszanki betonowej należy uwzględnić sposób dozowania dodatku. Dozowanie bezpośrednie do mieszanki wymaga przedłużenia czasu mieszania składników. Korzystniejsze jest dozowanie domieszki do wody zarobowej.

2.1.3. Wybór domieszki i ustalenie jej ilości

Przy wyborze domieszki, poza względami ekonomicznymi i możliwością uzyskania zamierzonego efektu, należy uwzględnić takie szczegółowe informacje o domieszce jak: czas działania, zachowanie w warunkach przyspieszonego dojrzewania betonu, oddziaływanie na stal zbrojeniową, w tym szczególnie sprężającą, warunki przechowywania i trwałość.

Ilość domieszki w mieszance betonowej zależy głównie od zamierzonych efektów i wynosi zwykle od $0,25\%$ do 5% masy cementu.

Potrzebną ilość domieszki do mieszanki betonowej ustala się metodą prób laboratoryjnych, a sprawdza w warunkach przemysłowych. Wymaga to wykonania kilku zarobów próbnych, z różną, mieszającą się w zalecanych granicach, ilością domieszki, oraz zbadania i oceny konsystencji i porowatości mieszanek, a także sprawdzenia wytrzymałości betonu po określonym wymaganiami czasie i w określonych warunkach dojrzewania. Należy zaznaczyć, że domieszki nie powinny wpływać negatywnie na wytrzymałość betonu.

2.1.4. Projektowanie betonów z domieszkami

Chociaż przewidywane jest zastosowanie domieszek lub dodatków w pierwszej fazie projektuje się skład betonu na wytrzymałość projektową (f_p) w taki sposób jak projektuje się beton zwykły. Następnie drogą prób wprowadza się korekty w składzie, wynikające z zastosowania domieszek czy też dodatków. Ogólna zasada jest taka, że wytrzymałość betonu na ściskanie w wyniku zastosowania domieszki nie może ulec obniżeniu o więcej niż 10% .

Gdy domieszka powoduje wzrost wytrzymałości na ściskanie, normy budowlane dopuszczają obniżenie ilości cementu o taką ilość, żeby zapewniona była wytrzymałość założona.

2.2. Cel i zakres ćwiczenia laboratoryjnego

Celem ćwiczenia jest zapoznanie się z charakterystyką i zasadami stosowania domieszek uplastyczniających oraz określenie, na podstawie przeprowadzonych badań, wpływu tych dodatków na cechy mieszanki betonowej i wytrzymałość betonu.

W celu zbadania i oceny wpływu wybranych domieszek uplastyczniających na konsystencję i porowatość mieszanki betonowej o określonym składzie oraz na wytrzymałość betonu należy:

- zapoznać się z charakterystyką i zasadami stosowania podanych w temacie domieszek uplastyczniających,
- wykonać 8 dm³ mieszanki betonowej o składzie jak w ćwiczeniu poprzednim,
- oznaczyć konsystencję mieszanek betonowych bez domieszki (wyniki z poprzedniego ćwiczenia) i z domieszką,
- określić wytrzymałość betonu bez domieszki (wyniki z poprzedniego ćwiczenia) i z domieszką, po 28 dniach dojrzewania w warunkach laboratoryjnych,
- przeprowadzić analizę uzyskanych wyników,
- podać wnioski.

2.3. Metodyka badań

2.3.1. Sprawdzenie konsystencji mieszanki betonowej

Metoda Vebe do badania konsystencji mieszanek betonowych

Formę stożkową aparatu Vebe wypełniamy w 3 warstwach mieszanką betonową w ilości co najmniej 8 dm³, zagęszczając każdą warstwę 25-krotnym zagłębieniem pręta. Po odsunięciu leja wyspowego, wygładzeniu powierzchni przez zatarcie, zdjęciu formy stożkowej, oparciu swobodnym płyty na mieszance, włączamy wibrator i mierzymy czas (w sekundach) potrzebny do zetknięcia się całej powierzchni płyty z mieszanką betonową. Czas ten jest miarą konsystencji mieszanki betonowej.

Tablica 2.1.

Klasy konsystencji według metody Vebe

Klasa	Czas Vebe w sekundach
V0	31
V1	od 30 do 21
V2	od 20 do 11
V3	od 10 do 6
V4	od 5 do 3

2.3.2. Wykonanie próbek do badania wytrzymałości betonu

Podstawową próbką do badania wytrzymałości betonu na ściskanie jest sześciian o krawędzi 15 cm. Gdy jednak największy wymiar ziaren kruszywa przekracza 32 mm, należy stosować próbki większe – sześciiany o krawędzi 20 cm. Dopuszcza się wykonywanie próbek mniejszych – sześcianów o krawędzi 10 cm, pod warunkiem że największy wymiar ziaren kruszywa w betonie nie przekracza 16 mm.

Mieszanke betonową w formie należy układać i zagęszczać w sposób możliwie zbliżony do stosowanego w warunkach produkcyjnych. Przy wibrowaniu mieszankę w formie układa się z pewnym nadmiarem, po czym wibruje tak długo, aż cała powierzchnia próbki pokryje się zaczynem cementowym. Układanie i zagęszczanie mieszanki w formach powinno być zakończone przed upływem 0,5 h od chwili jej wymieszania. Po zagęszczeniu powinien pozostać nad krawędzią formy nadmiar mieszanki o wysokości około 5 mm. Nadmiar ten usuwa się liniałem metalowym dopiero po upływie od 0,5 do 3 godzin od wykonania próbki, w zależności od konsystencji.

2.3.3. Badanie i ocena wytrzymałości betonu na ściskanie

W celu sprawdzenia wytrzymałości betonu o zaprojektowanym składzie wykonuje się minimum 3 próbki i przechowuje się je przez dobę w formach, a następnie po rozformowaniu do 28 dni w warunkach laboratoryjnych, tj. w temperaturze $18 \pm 2^{\circ}\text{C}$ i wilgotności względnej powyżej 90%. Próbki sześciennie umieszcza się w prasie po obroceniu ich o 90° w stosunku do kierunku formowania. Jedną z płyt dociskowych prasy musi być wyposażona w przegub, a próbka powinna być umieszczona w sposób zapewniający osiowe przyłożenie obciążenia. Pomiędzy płyty dociskowe prasy i próbkę można włożyć wyłącznie gładkie podkładki stalowe grubości co najmniej 10 mm, o wymiarach równych wymiarowi próbki. Prędkość przyrostu obciążenia powinna wynosić $0,2 \div 0,4 \text{ MPa/s}$ przy przewidywanej wytrzymałości betonu mniejszej niż 20 MPa i $0,4 \div 0,6 \text{ MPa/s}$ przy przewidywanej wytrzymałości betonu większej niż 20 MPa. Za wynik badania przyjmuje się największe obciążenie przeniesione przez próbkę w czasie badania. Wytrzymałość próbki oblicza się dzieląc wartość tego obciążenia przez powierzchnię docisku. Wyniki badania wytrzymałości betonu na próbkach sześciennych o krawędziach 10 cm i 20 cm należy odnieść do próbki o krawędzi 15 cm, uznanej jako podstawowa do tego badania. W tym celu należy wytrzymałość otrzymaną na próbce $10 \times 10 \times 10 \text{ cm}$ pomnożyć przez 0,9, a na próbce $20 \times 20 \times 20 \text{ cm}$ przez 1,05. Wyniki badania ocenia się określając średnią arytmetyczną wyników wytrzymałości. Przez analogię do wymagań stawianych przy sprawdzaniu wyników wytrzymałości projektowej f_p partii betonu zastosować można ograniczenie:

$$\frac{\sum f_{ci}}{n} > 0,9 f_p \quad (2.1)$$

Niespełnienie tego wymagania oznacza zwykle (po wykluczeniu błędu w odważaniu składników): wytrzymałość cementu zbyt małą lub inną niż przyjęta do projektowania, wartość współczynnika A dla użytego cementu i kruszywa. Projektowanie należałoby wówczas powtórzyć, wykonując jeszcze raz próbki z mieszanki betonowej o tym samym składzie (w celu wykluczenia błędów przypadkowych) oraz dodatkowo z mieszanki o większej wartości wskaźnika C/W.

LITERATURA

1. Jasieczak J., Mikołajczyk P.: Technologia betonu modyfikowanego domieszkami i dodatkami. Wydawnictwa Politechniki Poznańskiej, Poznań, 1997.
2. Osiecka E. Wybrane zagadnienia z technologii mineralnych kompozytów budowlanych. Wydawnictwa Politechniki Warszawskiej, Warszawa, 2000.
3. Piasta J., Piasta W. G.: Beton zwykły. Arkady, Warszawa, 1997.
4. PN-EN 206-1:2000. Beton. Wymagania, właściwości, produkcja, zgodność.
5. Smirnow Maria i in.: Przemysłowa produkcja prefabrykatów. Ćwiczenia laboratoryjne. PWN, Warszawa, 1983.

Rozdział 3.

PROGNOZOWANIE WYTRZYMAŁOŚCI 28-DNIOWEJ BETONU W PREFABRYKACIE

3.1. Wprowadzenie

Zasady ogólne przewidywania 28 dniowej wytrzymałości betonu

Stosując powszechnie przyjęte metody przewiduje się wytrzymałość betonu dojrzewającego przez 28 dni w warunkach laboratoryjnych na podstawie składu mieszanki betonowej. Według innych metod podstawą jest badanie wytrzymałości betonu po krótkim okresie jego twardnienia w umownych warunkach przyspieszających ten proces, np. po 7 godzinnej obróbce cieplnej. Niezbędna jest wówczas znajomość zależności między wytrzymałością betonu po procesie przyspieszonego dojrzewania – f_{cm}^T a wytrzymałością betonu o takim samym składzie, dojrzewającego przez 28 dni w warunkach normowych (laboratoryjnych) – f_{cm} . W praktyce zależność taką ustala się dla pewnego zakresu mieszanek betonowych, różniących się konsystencją, wskaźnikiem C/W, rodzajem kruszywa i cementu. Korzystanie z zależności ustalonej dla węższego zakresu mieszanek, w tym głównie ze względu na zróżnicowanie rodzaju i klasy cementu, wpływa na zwiększenie dokładności metody.

Spośród metod badania wytrzymałości betonu, przewidującym 28 dniową wytrzymałość betonu, po przyspieszonym dojrzewaniu betonu wyróżniamy:

- metodę opisaną w normie BN-73/6736-01 oraz
- metodę SMBR-28, opracowaną w Instytucie Technologii i Organizacji Produkcji Budowlanej Politechniki Warszawskiej.

Korzystać z nich można na etapie projektowania składu mieszanki betonowej, a także w międzyoperacyjnej kontroli wytrzymałości betonu.

3.2. Cel i zakres ćwiczenia laboratoryjnego

Celem ćwiczenia jest zapoznanie się z zasadami ogólnymi przewidywania 28-dniowej wytrzymałości betonu oraz z metodą SMBR-28. W ćwiczeniu tym należy:

- zapoznać się z zasadami ogólnymi przewidywania 28 dniowej wytrzymałości betonu,
- określić 28 dniową wytrzymałość betonu, wykonanego według składu z ćwiczenia 1, korzystając z metody SMBR-28,

- porównać wytrzymałość przewidywaną z rzeczywistą wytrzymałością 28 dniową betonu.

3.3. Metodyka badań

Przyspieszone dojrzewanie próbek przy zastosowaniu metody SMBR-28

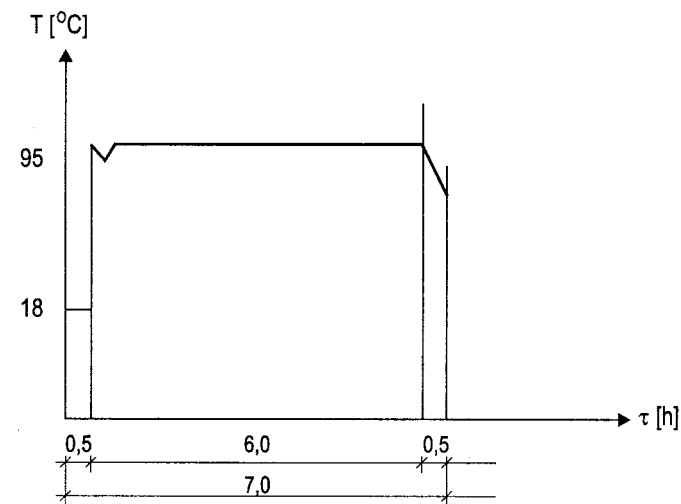
Wytrzymałość betonu f_{cm} określa się na podstawie wyników badania wytrzymałości na ściskanie próbek betonowych poddanych 7 lub 23,5 godzinnemu cyklowi przyspieszonego dojrzewania. Obróbkę cieplną należy prowadzić ściśle według warunków, które zakłada metoda. Z badanej mieszanki betonowej formuje się 4 próbki $10 \times 10 \times 10$ cm na stole wibracyjnym lub na stoliku Vebe, zagęszczając każdą w tym samym czasie. Po wyrównaniu górnych powierzchni zakłada się i przymocowuje pokrywki form i poddaje próbki w zamkniętych formach jednemu z wybranych cykli przyspieszonego dojrzewania.

Cykl 7 godzinny składa się z następujących faz (rys. 3.1.a):

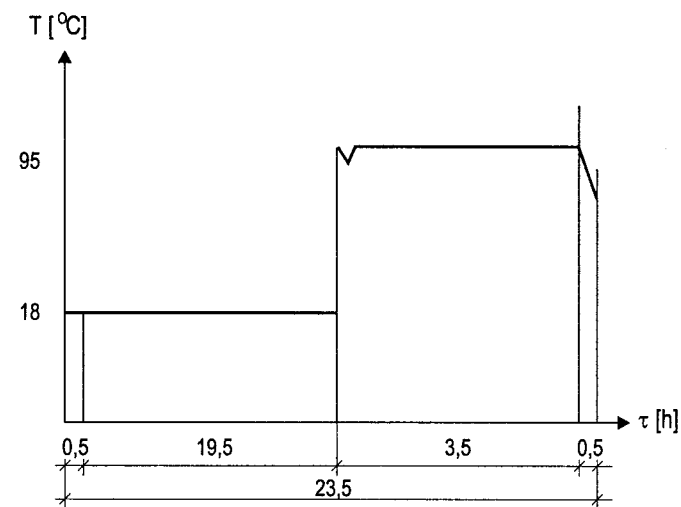
- wstępnego dojrzewania,
- nagrzewu izotermicznego (obróbka w termobasenie),
- studzenia.

W fazie wstępnego dojrzewania, trwającej 0,5 h, przygotowuje się mieszankę betonową (lub pobiera porcję z mieszanki badanej) i formuje się 4 próbki. Po tym czasie próbki umieszcza się w termobasenie z wodą o temperaturze $95 \pm 1^\circ\text{C}$ na 6 h; jest to faza nagrzewu izotermicznego. Podczas 0,5 godzinnej fazy studzenia próbki wyjmują się z termobasenu, rozformowuje, studzi w warunkach naturalnych i przed upływem tego czasu bada ich wytrzymałość na ściskanie. Należy przestrzegać, aby czas trwania każdej fazy nie różnił się od czasu założonego więcej niż o 5 min.

W cyklu 23,5 godzinnym (rys. 3.1b) faza wstępnego dojrzewania trwa 19,5 h i obejmuje okres od dodania wody do mieszanki betonowej do momentu włożenia próbek do termobasenu. Na początku tej fazy w czasie nie dłuższym niż 0,5 h przygotowuje się mieszankę betonową (lub pobiera porcję z mieszanki badanej) i formuje 4 próbki $10 \times 10 \times 10$ cm, a następnie próbki w formach zamkniętych umieszcza się w wodzie o temperaturze $18 \pm 2^\circ\text{C}$ na 19 h. Po zakończeniu fazy wstępnego dojrzewania próbki, pozostające nadal w formach zamkniętych, wkłada się do termobasenu z wodą o temperaturze $95 \pm 1^\circ\text{C}$, gdzie przebywają 3,5 h; jest to faza nagrzewu izotermicznego. Faza studzenia, tak jak w cyklu 7 godzinnym, trwa 0,5 h i rozpoczyna się wyjęciem próbek z termobasenu, a kończy badaniem ostatniej próbki. Odchylenie rzeczywistego czasu trwania każdej z faz od czasu założonego nie może przekraczać 5 min. Do przeprowadzenia przyspieszonego dojrzewania próbek betonowych według metody SMBR-28 laboratorium musi mieć formy zamknięte próbek $10 \times 10 \times 10$ cm oraz termobasen z urządzeniami sterującymi i grzewczymi, zapewniającymi utrzymanie stałej temperatury $95 \pm 1^\circ\text{C}$.



a) 7 godzinny



b) 23,5 godzinny

Rys. 3.1.

Cykle przyspieszonego dojrzewania próbek stosowane w metodzie SMBR 28

Tablica 3.1.

Przewidywana 28 dniowa wytrzymałość betonu średnia f_{cm} i minimalna $f_{cm,min}$ w MPa, w zależności od zastosowanego cyklu obróbki.

Wytrzymałość betonu po obróbce, f_{cm}^r	Przewidywana 28 dniowa wytrzymałość betonu średnia f_{cm} i minimalna $f_{cm,min}$ [MPa], w zależności od zastosowanego cyklu obróbki			
	7 h		23,5 h	
	f_{cm}	$f_{cm,min}$	f_{cm}	$f_{cm,min}$
3.0	7.0	5.4	12.3	9.8
3.5	8.0	6.2	13.1	10.5
4.0	9.0	6.9	14.0	11.2
4.5	9.9	7.6	14.8	11.8
5.0	10.9	8.4	15.7	12.6
5.5	11.8	9.1	16.5	13.2
6.0	12.7	9.8	17.3	13.8
6.5	13.7	10.5	18.1	14.5
7.0	14.6	11.2	18.9	15.1
7.5	15.5	11.9	19.7	15.8
8.0	16.4	12.6	20.5	16.4
8.5	17.3	13.3	21.3	17.0
9.0	18.2	14.0	22.1	17.7
9.5	19.0	14.6	22.8	18.2
10.0	19.9	15.3	23.6	18.9
10.5	20.8	16.0	24.3	19.4
11.0	21.6	16.6	25.1	20.1
11.5	22.5	17.3	25.8	20.6
12.0	23.3	17.9	26.6	21.3
12.5	24.1	18.6	27.2	21.8
13.0	25.0	19.2	28.0	22.4
13.5	25.8	19.9	28.7	23.0
14.0	26.6	20.5	29.4	23.5
14.5	27.4	21.1	30.1	24.1
15.0	28.2	21.7	30.8	24.6
15.5	28.9	22.3	31.4	25.1
16.0	29.7	22.9	32.1	25.7
16.5	30.5	23.5	32.8	26.2
17.0	31.2	24.0	33.4	26.7
17.5	32.0	24.6	34.1	27.3
18.0	32.7	25.2	34.7	27.8

Wytrzymałość betonu po obróbce, f_{cm}^r	Przewidywana 28 dniowa wytrzymałość betonu średnia f_{cm} i minimalna $f_{cm,min}$ [MPa], w zależności od zastosowanego cyklu obróbki			
	7 h		23,5 h	
	f_{cm}	$f_{cm,min}$	f_{cm}	$f_{cm,min}$
18.5	33.5	25.8	35.3	28.2
19.0	34.2	26.3	36.0	28.8
19.5	34.9	26.9	36.6	29.3
20.0	35.6	27.4	37.2	29.8
20.5	36.3	28.0	37.8	30.2
21.0	37.2	28.5	38.4	30.7
21.5	37.8	29.1	39.0	31.2
22.0	38.4	29.6	39.6	31.7
22.5	39.0	30.0	40.1	32.1
23.0	39.7	30.6	40.7	32.6
23.5	40.3	31.0	41.2	33.0
24.0	41.0	31.6	41.8	33.4
24.5	41.6	32.0	42.3	33.8
25.0	42.3	32.6	42.9	34.3
25.5	42.9	33.0	43.4	34.7
26.0	43.5	33.5	43.9	35.1
26.5	44.1	34.0	44.4	33.5
27.0	44.7	34.4	44.9	35.9
27.5	45.3	34.9	45.4	36.3
28.0	45.9	35.3	45.9	36.7
28.5	46.4	35.7	46.4	37.1
29.0	47.0	36.2	46.9	37.5
29.5	47.6	36.7	47.3	37.8
30.0	48.1	37.0	47.8	38.2
30.5	48.7	37.5	48.2	38.6
31.0	49.2	37.9	48.7	39.0
31.5	49.7	38.3	49.1	39.3
32.0	50.2	38.7	49.6	39.7
32.5	50.7	39.0	50.0	40.0
33.0	51.2	39.4	50.4	40.3
33.5	51.7	39.8	50.8	40.6
34.0	52.2	40.2	51.2	41.0
34.5	52.7	40.6	51.6	41.3
35.0	53.2	41.0	52.0	41.6

Wytrzymałość betonu po obróbce, f_{cm}^r	Przewidywana 28 dniowa wytrzymałość betonu średnia f_{cm} i minimalna $f_{cm,min}$ [MPa], w zależności od zastosowanego cyklu obróbki			
	7 h		23,5 h	
	f_{cm}	$f_{cm,min}$	f_{cm}	$f_{cm,min}$
35.5	53.6	41.3	52.3	41.8
36.0	54.1	41.7	52.7	42.2
36.5	54.5	42.0	53.1	42.5
37.0	55.0	42.4	53.4	42.7
37.5	55.4	42.7	53.8	43.0
38.0	55.8	43.0	54.1	43.3
38.5	56.2	43.3	54.4	43.5
39.0	56.5	43.5	54.8	43.8
39.5	57.0	43.9	55.1	44.1
40.0	57.4	44.2	55.4	44.3

Określenie 28 dniowej wytrzymałości betonu metodą SMBR-28

Po zbadaniu próbek i określeniu średniej wytrzymałości f_{cm}^r betonu, poddanego wzorcowej obróbce cieplnej, określa się wytrzymałość f_{cm} tego betonu, korzystając najlepiej z własnych zależności $f_{cm} = f(f_{cm}^r)$, ustalonych wcześniej dla określonego zakresu mieszanek betonowych. Gdy nie ma się takich zależności, można np. skorzystać z zależności ogólnych podanych w tabelicy 1. Ustalono je w Instytucie Technologii i Organizacji Produkcji Budowlanej na podstawie badań betonów o bardzo różnym składzie. Dla znanej wytrzymałości f_{cm}^r odczytuje się z tabelicy przewidywaną średnią wartość 28 dniowej wytrzymałości betonu f_{cm} i jej wartość minimalną $f_{cm,min}$, w zależności od zastosowanego cyklu obróbki. Wartości wytrzymałości minimalnych ustalono przy założeniu 5% prawdopodobieństwa występowania mniejszych od nich wytrzymałości. Zarówno wartości f_{cm} jak i $f_{cm,min}$ podane w tabelicy odnoszą się do próbek $10 \times 10 \times 10$ cm. Dlatego też odczytane wyniki należy odnieść do próbek $15 \times 15 \times 15$ cm, to znaczy pomnożyć przez współczynnik równy 0,9.

Porównanie wytrzymałości przewidywanej z rzeczywistą

W celu porównania wytrzymałości przewidywanej przy zastosowaniu metody SMBR-28 z rzeczywistą wytrzymałością betonu należy uformować dodatkowo z badanej mieszanki 3 próbki $10 \times 10 \times 10$ cm i zbadać ich wytrzymałość po 28 dniach dojrzewania w warunkach laboratoryjnych. W praktyce, powtarzając kilkakrotnie (np. 10 razy) takie porównanie dla jednej mieszanki betonowej, określa się przydatność danej zależności $f_{cm} = f(f_{cm}^r)$ do przewidywania wytrzymałości badanego betonu.

LITERATURA

1. Osiecka E. Wybrane zagadnienia z technologii mineralnych kompozytów budowlanych. Wydawnictwa Politechniki Warszawskiej, Warszawa, 2000.
2. Piasta J., Piasta W. G.: Beton zwykły. Arkady, Warszawa, 1997.
3. PN-EN 206-1:2000. Beton. Wymagania, właściwości, produkcja, zgodność.
4. Smirnow Maria i in.: Przemysłowa produkcja prefabrykatów. Ćwiczenia laboratoryjne. PWN, Warszawa, 1983.

OCENA JAKOŚCI WYKONYWANYCH FAKTUR STRUKTURALNYCH

4.1. Wprowadzenie

Ze względu na przyjętą technologię produkcji elementów można rozróżnić:

- faktury strukturalne – wykonywane w jednym procesie formowania elementów, np. na dnie (podkładzie) formy przed uformowaniem elementu – faktury denne lub w ostatniej fazie formowania na jego górnej powierzchni – faktury wierzchnie,
- faktury strukturalne – wykonywane jako dodatkowa operacja wykończenia gotowych elementów, po ich rozformowaniu jako powłoki natryskowe lub spiekane.

Ze względu na rodzaj materiału dekoracyjnego stosowanego do wytworzenia faktury można wymienić:

- faktury kruszywowe – z ozdobnych kruszyw naturalnych lub sztucznych,
- faktury betonowe – wytwarzane przez zastosowanie warstwy dekoracyjnego betonu lub zaprawy, lub przez wykonanie ozdobnego rysunku bezpośrednio w konstrukcyjnym materiale elementu,
- faktury okładzinowe – wytwarzane z płytek okładzinowych związanych bezpośrednio z materiałem konstrukcyjnym elementu lub pośrednio za pomocą zaprawy cementowej,
- faktury plastyczne – wytwarzane z materiałów plastycznych natryskiwanych na gotowy element,
- faktury szklone – wytwarzane przez spiekanie szkliwa nałożonego na powierzchnię elementu lub przez bezpośrednie spiekanie materiału elementu.

Faktury strukturalne kruszywowe wykonuje się w procesie formowania elementów. Mogą one być układane na dnie formy przed ułożeniem mieszanki betonowej, jako faktury denne, lub w ostatniej fazie formowania na górnej powierzchni elementu, jako faktury wierzchnie. Najczęściej stosowanym kruszywem ozdobnym faktur są żwiry pochodzenia rzeczno-górnego lub kopalne płukane oraz kruszywo łamane. Rzadziej używa się kruszyw łamanych z materiałów sztucznych (ceramiczne, szklane). Kruszywa ozdobne stosowane do wykonywania faktur powinny odpowiadać następującym wymaganiom:

- zawartość pyłów mineralnych (frakcji poniżej 0,05 mm) nie większa niż 1,5%,
- zawartość związków siarki rozpuszczalnych w wodzie, w przeliczeniu na SO_3 , nie większa niż 0,2%,
- zawartość ziaren wydłużonych i płaskich nie większa niż 20%,
- nasiąkliwość kruszywa nie większa niż 6%,
- kruszywo bez zanieczyszczeń obcych i odporne na działanie mrozu.

Przy wykonywaniu faktur na elementach z betonu kruszywowego, kruszywo ozdobne związane jest z betonem pośrednio, poprzez warstwę zaprawy, która utrzymuje ziarna faktury we właściwym położeniu.

Faktury okładzinowe wytwarzane są z kształtek albo płytek ceramicznych lub szklanych związanych bezpośrednio z betonem elementu lub pośrednio z warstwą zaprawy cementowej. W celu dobrego zespolenia płytek z podłożem faktury te są wykonywane w zasadzie jako denne. Efekty estetyczne faktur okładzinowych zależą od barwy, kształtu i sposobu ułożenia płytek. Faktury mogą być jedno- lub wielobarwne (mozaikowe).

Faktury plastyczne stanowią jednorodną powłokę barwną drobnoziarnistą lub inkustowaną grysem ozdobnym. Dzięki swojej elastyczności powłoka dobrze współpracuje z podłożem. Trwałość powłok plastycznych zależy przede wszystkim od rodzaju żywicy użytej, jako spoiwo organiczne oraz od okresu „starzenia się” w warunkach atmosferycznych.

Faktury szklone stanowią powłokę, o dużej sprężystości i szklistej strukturze, zespoloną z podłożem w procesie spiekania w wysokich temperaturach. Powłoka mająca strukturę zwartą i szczelną nie może pokrywać całkowicie licowej powierzchni elementu, aby nie utrudniać dyfuzji pary wodnej i wysychania betonu.

4.2. Cel i zakres ćwiczenia laboratoryjnego

Celem pierwszej części ćwiczenia jest zapoznanie się z technologią wykonywania faktur w procesie formowania elementów prefabrykowanych. Po zapoznaniu się z zasadami ogólnymi i wskazówkami dotyczącymi wykonywania faktur należy:

- przygotować kruszywo – przemyć wodą w celu usunięcia pyłów z powierzchni ziaren,
- przygotować formę (oczyścić, nanieść środek antyadhezyjny na powierzchnie zewnętrzne),
- ułożyć kruszywo ozdobne,
- posypać równomiernie suchym piaskiem na wysokość około 1/3 średnicy najmniejszych ziaren kruszywa ozdobnego i zwilżyć wodą,
- ułożyć warstwę zaprawy na wysokość około 1 cm,
- ułożyć kolejne warstwy elementu zgodnie z projektem,
- wykończyć fakturę poprzez oczyszczenie jej powierzchni.

Celem drugiej części ćwiczenia jest zapoznanie się z warunkami odbioru technicznego gotowej faktury, naprawą uszkodzeń, transportem i składowaniem prefabrykatów z fakturą strukturalną. Po zapoznaniu się z zasadami ogólnymi i wskazówkami dotyczącymi oceny jakości faktur należy przeprowadzić ocenę jakości wykonanej wcześniej faktury.

4.3. Metodyka badań

4.3.1. Wykonywanie faktury kruszywowej dennej przez rozkładanie kruszywa ozdobnego za pomocą wibrowania

Fakturę kruszywową denną wykonuje się w następujący sposób. Na oczyszczony suchy podkład formy równomiernie rozsypuje się odważoną porcję kruszywa ozdobnego. Powinno to być kruszywo jednofrakcyjne naturalne lub łamane o uziarnieniu powyżej 8 mm. W zależności od projektowanego wyglądu faktury stosuje się jedną z frakcji kruszywa: 8÷16 lub 16÷32 mm (czasami także frakcje pośrednie 8÷12 i 12÷16 mm). Zwykle pokrywa się ziarnami około 70% powierzchni. W fakturze tej ziarna kruszywa ozdobnego powinny być jednakowo eksponowane i równomiernie rozłożone na całej powierzchni licowej elementu. Ułożoną wstępnie warstwę kruszywa poddaje się krótkotrwałemu wibrowaniu w czasie 3÷5 s, w celu równomiernego rozłożenia ziaren na podkładzie. Kruszywo po wibrowaniu powinno być rozłożone w pojedynczej warstwie. Warstwę tę posypuje się równomiernie suchym piaskiem (do 2 mm), którego zadaniem jest właściwe wypełnienie wolnych przestrzeni między ziarnami kruszywa i zabezpieczenie podkładu formy przed przyleganiem zaprawy. Grubość warstwy piasku powinna być nie większa niż 1/3 średnicy najmniejszych ziaren stosowanego kruszywa. Ułożoną warstwę zwilża się wodą do uzyskania przez piasek wilgotności 4÷6%. Po uwzględnieniu wodożądności kruszywa fakturowego potrzebna ilość wody stanowi 10÷15% masy piasku. Przy takiej wilgotności piasek powiększa swoją objętość, co powoduje stabilizację ziaren kruszywa fakturowego. Na kruszynie z piaskiem układa się równomiernie warstwę zaprawy cementowej o konsystencji plastycznej w takiej ilości, aby pokryć największe ziarna kruszywa na wysokość około 1 cm. Zaprawę należy wykonać z cementu CEM I lub CEM II klasy 32,5 i piasku naturalnego frakcji do 2 mm, stosując proporcje wagowe cementu do piasku 1:3. Ułożoną warstwę zaprawy otulającą należy zagęścić uderzeniami packi (nie wibrować). Po wykonaniu warstwy fakturowej napelnia się formę mieszanką betonową o konsystencji plastycznej, układając ją warstwami. Każdą ułożoną warstwę należy ubijać lub sztychować w taki sposób, aby nie uszkodzić warstwy fakturowej. Mieszanke betonową można też zagęścić przez krótkotrwałe wibrowanie w czasie około 10 s. Dłuższe wibrowanie może spowodować naruszenie układu warstw i wtopienie żwiru fakturowego w zaprawę. Dlatego też faktury tej nie należy stosować do elementów z mieszanki betonowej o konsystencjach: gęstoplastycznej (np. V1) i wilgotnej (np. V0), zagęszczanej objętościowo. Mieszanke beto-

nową należy ułożyć przed stwardnieniem zaprawy, by lepiej połączyć obie warstwy ze sobą. Po obróbce cieplnej lub dojrzewaniu naturalnym i rozformowaniu elementu, powierzchnię fakturową czyści się szczotką z twardym włosiem, aby usunąć luźne ziarna piasku.

4.3.2. Wykonywanie faktury kruszywowej wierzchniej drobnoziarnistej przez wciskanie kruszywa

Fakturę kruszywową wierzchnią wykonuje się w następujący sposób. Z mieszanki betonowej o konsystencji gęstoplastycznej (np. V1) formuje się element tak, aby po zagęszczeniu forma nie była wypełniona mieszanką na wysokości 3 cm. Bezpośrednio po zawibrowaniu mieszanki betonowej układa się warstwę zaprawy cementowej o stosunku wagowym cementu do piasku 1:3, o konsystencji gęstoplastycznej (np. V1), z cementu portlandzkiego o klasie wytrzymałości 32,5 i piasku frakcji do 2 mm. Zaprawę zagęszcza się przez krótkotrwałe wibrowanie do 5 s i wyrównuje łatą do grubości 2 cm. Warstwę zaprawy posypuje się ozdobnym kruszywem. Może to być kruszywo naturalne lub łamane, najczęściej frakcji 4÷8 mm. Orientacyjne zużycie kruszywa frakcji 4÷8 mm, przy pokryciu 70% powierzchni ziarnami, wynosi 6÷8 kg/m². Rzeczywistą ilość zużytego kruszywa określa się na podstawie próby. Pokrycie kruszywem powierzchni licowej elementu nie powinno przekraczać 80%. Kruszywo należy rozsypywać z wysokości 50 cm w ten sposób, aby tworzyło ono pojedynczą warstwę, równomiernie rozłożoną na całej powierzchni. W praktyce kruszywo rozsypuje się za pomocą specjalnego urządzenia dozującego. Rozsypane ziarna kruszywa wciska się w zaprawę, na głębokość nie mniejszą niż 2/3 średnicy ziaren, przez walcowanie za pomocą wałka metalowego lub drewnianego pokrytego gumą, krótkotrwałe wibrowanie powierzchniowe za pomocą łaty wibracyjnej albo pod ciśnieniem sprężonego powietrza. Zbyt długie wibrowanie powoduje wypłynięcie zaprawy na powierzchnię kruszywa. Po obróbce cieplnej lub dojrzewaniu naturalnym i rozformowaniu elementu, czyści się szczotką powierzchnię fakturową w celu usunięcia luźnych niezwiązanych z zaprawą ziaren kruszywa.

4.3.3. Wykonywanie faktury betonowej wierzchniej z eksponowanym kruszywem przez zmywanie powierzchni mieszanki betonu fakturowego

Fakturę stanowi warstwa betonu najczęściej z kruszywem łamanym frakcji 10÷20 mm. Po zmyciu powierzchni wodą eksponowane są ziarna kruszywa ozdobnego. Faktura ta wyglądem przypomina fakturę kruszywową i jest najczęściej stosowana na elementach z betonu keramzytowego. Sposób wykonywania faktury jest następujący. Z mieszanki betonowej z kruszywem keramzytowym formuje się element tak, aby mieszanka po zagęszczeniu nie wypełniała formy na wysokości 3 cm. Na górnej wyrównanej powierzchni elementu układa się warstwę zaprawy cementowej (podsypki) o grubości 1 cm o stosunku objętościowym cementu do piasku równym 1:2 i konsystencji wilgotnej ziemi (sypka mieszanina). Zaprawę należy wykonać z cementu portlandzkiego o klasie 32,5 i piasku naturalnego frak-

cji do 2 mm, rozłożyć ją równomiernie na całej powierzchni i zagęścić przez wibrowanie. Na zaprawie układa się 2 cm warstwę mieszanki betonu fakturowego. Mieszanke betonu fakturowego wykonuje się zwykle z kruszywa łamanego granitowego lub marmurowego frakcji 8÷16 mm i z zaczynu cementowego. Najczęściej stosowany skład 1 m³ mieszanki betonu fakturowego jest następujący: cement 290 kg, kruszywo łamane 1450 kg, woda 58 kg. Ułożoną warstwę mieszanki betonu fakturowego ubija się łątą bądź zagęszcza przez krótkotrwałe wibrowanie.

Bezpośrednio po ułożeniu mieszanki z kruszywem ozdobnym należy przystąpić do zmywania zaczynu z powierzchni ziaren. Powierzchnię zmywa się strumieniem mgły wodnej pod ciśnieniem 0,6 MPa. W praktyce do tego celu służą specjalne dysze, które należy prowadzić ruchem kolistym w odległości 20÷30 cm od powierzchni elementu. Zaczyn cementowy zmywany wodą z powierzchni ziaren wsiąka pomiędzy głębiej leżące ziarna oraz w podsypkę, uzupełniając zawartość wody w zaprawie cementowej. Zmywanie powinno być przeprowadzone w jak najkrótszym czasie. Podczas zmywania warstwy fakturowej element pozostaje w pozycji poziomej. Faktura powinna być zmyta do naturalnego koloru kruszywa ozdobnego. Zmytą powierzchnię elementu przykrywa się folią.

4.3.4. Obliczenie orientacyjnego zużycia kruszywa ozdobnego

Orientacyjne zużycie kruszywa w fakturach kruszywowych na pokrycie powierzchni równej S można obliczyć ze wzoru:

$$K = w \cdot F \cdot d \cdot \rho_{nl} \quad (4.1)$$

gdzie:

- K – orientacyjne zużycie kruszywa [kg],
- w – wskaźnik określający procent optymalnego pokrycia powierzchni fakturowej elementu ziarnami kruszywa, równy np. 0,7 lub 0,8,
- F – powierzchnia elementu przeznaczona do ułożenia faktury [m²],
- d – średni wymiar ziarna kruszywa [m],
- ρ_{nl} – gęstość nasypowa kruszywa w stanie luźnym [kg/m³].

Z praktyki wynika, że przeciętne zużycie kruszywa, o gęstości 2300÷2600 kg/m³, na 1 m² powierzchni fakturowej wynosi:

- dla frakcji 4÷8 mm – od 6 do 8 kg,
- dla frakcji 8÷16 mm – od 10 do 15 kg,
- dla frakcji 16÷32 mm – od 15 do 25 kg.

Zużycie kruszywa do faktur betonowych zależy od składu betonu fakturowego, od przyjętej grubości warstwy tego betonu oraz od powierzchni elementu przeznaczonej do ułożenia faktury.

4.3.5. Ocena jakości faktur

Jakość wykonanej faktury ocenia się sprawdzając:

- równomierność rozłożenia ziaren na powierzchni elementu;
- trwałość połączenia kruszywa z warstwą zaprawy (przy silnym uderzeniu młotkiem drewnianym w powierzchnię faktury elementu ziarna nie powinny się odpajać);
- zabrudzenie ziaren kruszywa zaprawą lub zaczynem;
- prawidłowość zagłębienia ziaren w zaprawie;
- występowanie rys na powierzchni warstwy faktury, jak też na połączeniu między betonem i warstwą zaprawy;
- występowanie wszelkiego rodzaju plam, zacieków i wykwitów.

LITERATURA

1. Bielecki W., Błociszewski S.: Faktury zewnętrzne prefabrykatów i betonu licowego. Arkady, Warszawa, 1973.
2. Fijakowska L., Jonak W.: Nowoczesne faktury elewacyjne budynków mieszkalnych, Arkady, Warszawa, 1977.
3. Smirnow M. i inni: Przemysłowa Produkcja Prefabrykatów. Ćwiczenia laboratoryjne. PWN, Warszawa, 1983.
4. Stefański A., Żywica R.: Technologia produkcji prefabrykowanych elementów betonowych dla budownictwa mieszkaniowego, PWN, Warszawa, 1981.

KONTROLA I OCENA JAKOŚCI WYKONANIA PREFABRYKATU

5.1. Wprowadzenie

W celu zapewnienia wymaganej jakości prefabrykatów należy prowadzić na bieżąco kontrolę kolejnych faz wykonania prefabrykatu oraz kontrolę końcową gotowego wyrobu. Bieżącą kontrolę końcową przeprowadza się bezpośrednio po wykonaniu prefabrykatu, tj. przed przekazaniem go do magazynu wyrobów gotowych. W tym celu należy sprawdzić: rodzaj i jakość wykończenia, wygląd zewnętrzny, wymiary elementu (tolerancje), wymiary i położenie otworów oraz innych elementów wyposażenia, a także powinno się sprawdzić wytrzymałość betonu na ściskanie po zakończeniu składowania na hali f'_{th} , porównując ją z wymaganą wytrzymałością składowania f_s . Również do kontroli bieżącej należy sprawdzenie prefabrykatu przed wysłaniem na budowę, tzn. tuż przed załadunkiem na środki transportu. Należy wówczas sprawdzić czy prefabrykat nie ma uszkodzeń oraz sprawdzić wytrzymałość wysyłkową betonu f_w .

Poza kontrolą bieżącą jakości wykonania prefabrykatów powinny być przeprowadzone okresowe badania niepełne i pełne. Zakresy badań niepełnych i pełnych określają normy dla danego asortymentu prefabrykatów. Badania niepełne należy przeprowadzać dla każdej określonej partii elementów, przy czym podstawą odbioru mogą być dokumenty bieżącej kontroli ich jakości. Badania pełne należy przeprowadzać w wypadku:

- okresowej kontroli produkcji (co najmniej raz w ciągu roku),
- wprowadzenia do technologii produkcji zmian mogących mieć wpływ na cechy wytrzymałościowe elementów,
- wprowadzenia do produkcji nowego asortymentu wyrobów,
- na żądanie odbiorcy.

Dla niektórych rodzajów elementów mogą być dodatkowo stawiane wymagania specjalne, które określone są w dokumentacji projektowej wraz z podaniem sposobu badania i kryteriów oceny.

Cechy geometryczne prefabrykatu w zakresie dokładności wymiarów oraz kształtu i wyglądu zewnętrznego, bada się dokładnie oglądając prefabrykat oraz posługując się jedną z metod: poprzez pomiary bądź poprzez sprawdziany. Badanie cech geometrycznych za pomocą pomiarów dostarcza danych o mierzonych wielkościach oraz pośrednio o wartościach istniejących odchyłek. Należy je stosować

w wypadku badań pełnych i niepełnych. Badania przy użyciu sprawdzianów mają charakter porównawczy i umożliwiają tylko szybkie skontrolowanie, czy dany wymiar mieści się w granicach dopuszczalnej tolerancji. Można z nich korzystać tylko przy bieżącej kontroli jakości prefabrykatów.

5.2. Cel i zakres ćwiczenia laboratoryjnego

Celem ćwiczenia jest zapoznanie się z wymaganiami w zakresie bieżącej i pełnej kontroli, ze sposobami badań i oceny jakości wykonania prefabrykatów.

W ćwiczeniu tym należy przeprowadzić kontrolę prefabrykatu, czyli ocenić jakość jego wykonania sprawdzając:

- rodzaj i jakość wykończenia,
- strukturę zewnętrzną elementu,
- wymiary prefabrykatu,
- wymiary i położenie otworów i innych elementów wyposażenia,
- wytrzymałość betonu na ściskanie.

5.3. Metodyka badań

5.3.1. Sprawdzenie rodzaju i jakości wykończenia

Sprawdzenie rodzaju i jakości wykończenia elementu polega na szczegółowym obejrzeniu całej jego powierzchni i porównaniu z wymaganiami zawartymi w dokumentacji projektowej. Ze względu na rodzaj, powierzchnia elementu może być: surowa gładka, surowa ostra lub wykończona. Powierzchnia surowa musi być gładka wówczas, kiedy będzie na niej naklejona tapeta lub nakładana warstwa powłoki. Powierzchnia surowa może być ostra, gdy przeznaczona będzie do tynkowania. Powierzchnie wykończone wewnętrzne mogą być pokryte powłokami (farbą emulsyjną olejną lub klejową), a powierzchnie wykończone zewnętrzne – fakturami. Wymaga się, aby na powierzchni z nałożoną warstwą powłoki nie było plam, smug, zacieków i zanieczyszczeń oraz żeby miała ona jednolity wygląd, nie pyliła, nie dawała się rysować paznokciem, a przy opukiwaniu drewnianym młotkiem nie pękała i nie odpryskiwała. Powierzchnia wykończona fakturą powinna odpowiadać wymaganiom dokumentacji pod względem rodzaju faktury, barwy i deseni. Nie dopuszcza się na powierzchni wykończonej fakturą plam, zacieków, wykwitów, uszkodzeń, zanieczyszczeń itp.

5.3.2. Sprawdzenie struktury zewnętrznej elementu

Sprawdzenie rys i pęknięć

Szerokości rys na powierzchni elementu mierzy się za pomocą przyrządów optycznych (np. lupa Brinella) z dokładnością do 0,05 mm w miejscu maksymalnego rozwarcia rysy. Długość rys mierzy się przymiarem stalowym z podziałką milimetrową z dokładnością do 1 mm. Nie dopuszcza się występowania pęknięć na

powierzchni elementu. Dopuszcza się natomiast występowanie pojedynczych włóskowatych rys skurczowych o rozwarości do 0,1 mm. W zależności od rodzaju elementów stawiane są również wymagania co do liczby i długości rys. I tak:

- dla elementów ściennych płytowych dopuszcza się rysy o długości do 150 mm w liczbie 10 na powierzchni 1 m² i 2 na obrzeżach,
- dla elementów stropowych i dachowych dopuszcza się rysy o długości do 150 mm w liczbie 3 na 1 m² powierzchni,
- dla elementów klatek schodowych dopuszcza się pojedyncze rysy o długości do 250 mm,
- dla elementów przestrzennych dopuszcza się rysy o długości do 150 mm w liczbie 2 na 1 m² powierzchni.

Sprawdzanie uszkodzeń powierzchni i porów

Na powierzchni elementów wielkości uszkodzeń, takich jak kawerny, wgłębienia, odpryski, mierzy się miarką stalową z podziałką milimetrową. Pomiaru dokonuje się wzdłuż dwóch osi prostopadłych, określających maksymalne wymiary uszkodzenia. Poza pomiarami długości i szerokości uszkodzenia, wykonuje się także w miarę potrzeby pomiar jego głębokości. W tym celu metalową linię należy przyłożyć nad uszkodzeniem, a stalową miarką zmierzyć głębokość uszkodzenia od jego dna do krawędzi linii. Wymagania co do występowania porów i uszkodzeń powierzchni są różne w zależności od rodzaju elementów.

Na elementach ściennych nie dopuszcza się porów i uszkodzeń, gdy ich powierzchnie mają być malowane. Na powierzchniach ścian przeznaczonych pod tapety dopuszcza się pory o średnicy do 5 mm, a ich liczba nie może przekroczyć 20 na dowolnie wybranym fragmencie o powierzchni 10×10 cm badanej ściany.

Na powierzchniach przygotowanych do malowania lub ułożenia tapet mogą występować wgłębienia, odpryski lub zadrapania w liczbie nie większej niż 5 na jednej powierzchni elementu. Głębokość tych uszkodzeń nie może przekraczać 5 mm, a powierzchnia 2,0 cm².

Na surowych powierzchniach płyt dachowych i stropowych dopuszcza się występowanie porów oraz wgłębień i odprysków pod warunkiem, że głębokość żadnego z nich nie przekracza 5 mm, a powierzchnia 12 cm². Liczba uszkodzeń na jednej powierzchni nie może przekraczać 3. Nie dopuszcza się uszkodzeń na powierzchniach wykończonych.

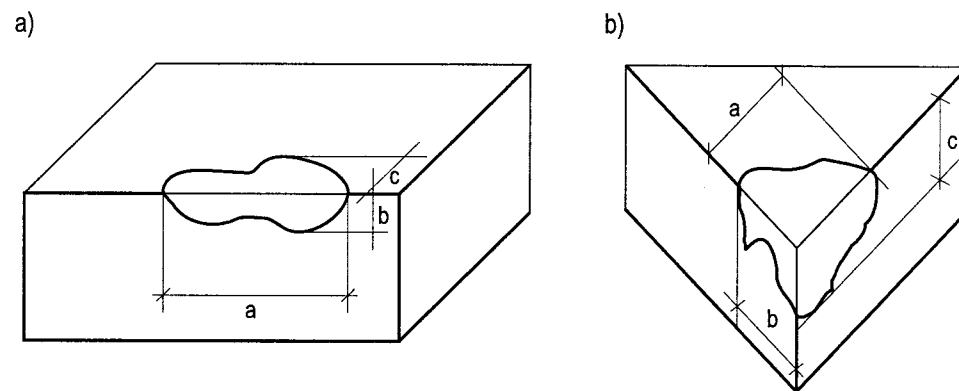
Na surowych powierzchniach biegów schodowych i podestów dopuszcza się pory, wgłębienia i odpryski, przy czym wymiary tych uszkodzeń nie mogą przekraczać 10×10×5 mm, a liczba ich na powierzchni 1 m² nie powinna przekraczać 2. Nie dopuszcza się uszkodzeń na powierzchniach wykończonych.

Na powierzchniach elementów przestrzennych, na których przewiduje się nałożenie powłoki dopuszcza się pory o średnicy 5 mm, w liczbie do 20 na dowolnie wybranym fragmencie o powierzchni 10×10 cm. Na powierzchniach przeznaczonych do wykończenia mogą występować wgłębienia, odpryski lub zadrapania w liczbie nie większej niż 5 na jednej z płaszczyzn powierzchni elementu. Głębokość tych uszkodzeń nie może przekraczać 5 mm, a powierzchnia 3,0 cm².

Sprawdzenie uszkodzeń krawędzi i naroży

Pomiar wielkości uszkodzenia krawędzi elementu (rys. 5.1a) wykonuje się miarką metalową z podziałką milimetrową oraz przy pomocy linii metalowej. Linię przykładą się do krawędzi uszkodzonej. Szerokość uszkodzenia (b, c) mierzy się miarką między krawędzią linii a krawędzią uszkodzenia w najszerszym miejscu, a długość (a) – między skrajnymi punktami uszkodzenia. Uszkodzenia krawędzi sfazowanej mierzy się w dwóch najszerszych miejscach uszkodzonej krawędzi.

Do pomiaru uszkodzeń naroży (rys. 5.1b) stosuje się trójkąt metalowy z podziałką milimetrową na obydwu jego ramionach. Trójkąt przykładą się w uszkodzonym narożu do powierzchni elementu tak, aby boki trójkąta stanowiły przedłużenie uszkodzonych krawędzi elementów. Dopuszczalną liczbę i wielkość uszkodzeń krawędzi i naroży elementów ściennych wewnętrznych i zewnętrznych o powierzchni surowej podaje tablica 5.1.



Rys. 5.1.

Miejsce pomiaru uszkodzeń: a) krawędzi, b) naroża

Tablica 5.2.
Dopuszczalne wartości tolerancji i odchyłek wymiarów niektórych prefabrykatów systemu WK-70.

System	Rodzaj elementu	Tolerancja [mm]			Odchyłki [mm]		
		długość	szerokość wysokość	grubość	długość	szerokość wysokość	grubość
WK-70	plyty stropowe	16	10	6	+12 -4	+3 -7	+4 -2
	plyty dachowe	16	10	10	+6 -10	+4 -6	+7 -3
	plyty podestowe	12	10	6	+8 -4	+3 -7	+4 -2
	plyty biegowe	12	10	6	±6	±5	+4 -2
	ściany wewnętrzne	16	10	8	+12 -4	±5	+5 -3
	ściany warstwowe osłonowe i nośne	16	10	10	+4 -12	±5	+8 -2
	bloki wentylacyjne i spalnikowe	10	4	4	+3 -7	±2	±2

Tablica 5.3.
Dopuszczalne wartości tolerancji i odchyłek wymiarów niektórych prefabrykatów OWT-75, Ż i Szczecińskiego

System	Rodzaj elementu	Tolerancje mm			Odchyłki mm		
		długość	szerokość wysokość	grubość	długość	szerokość wysokość	grubość
OWT 75	plyty stropowe	16	10	6	±8	±5	±3
	plyty dachowe	16	10	10	±8	±5	±5
	plyty podestowe i biegowe	12	10	6	±6	±5	±3
	ściany wewnętrzne i zewnętrzne	16	10	8	±8	±5	±4
	ściany szczytowe, pasmowe i zewn. warstwowe	12	10	10	±6	±6	±5
	bloki wentylacyjne	12	10	6	±6	±5	±3
Ż	bloki ścienne piwnic i plyty kanałowe stropowe	16	10	8	±8	±5	±4
	bloki ścienne, drzwiowe i licznikowe	12	10	8	±6	±5	±4
Szczeciński	plyty stropowe	16	10	6	±8	±5	±3
	plyty dachowe	16	10	10	±8	±5	±5
	plyty podestowe	10	10	6	±5	±5	±3
	plyty biegowe	10	10	6	±5	±5	±3
	ściany wewnętrzne	16	10	8	±8	±5	±4
	ściany zewnętrzne podłżne i szczytowe	16	10	10	±8	±5	±5
	kabiny sanitarne	12	10	10	±6	±5	±5

5.3.4. Sprawdzenie wymiarów i położenia wycięć, otworów i innych elementów wyposażenia prefabrykatu

Badając wymiary liniowe większych otworów, takich jak drzwi i okna, należy zmierzyć wysokość i szerokość w trzech miejscach, tj. przy obydwu obrzeżach i pośrodku, oraz zmierzyć po jednej przekątnej otworów. W wypadku mniejszych otworów, jak np. otwory wentylacyjne, lub wycięć należy zmierzyć ich wysokość i szerokość tylko przy obrzeżach oraz jedną przekątną. Przekątną wycięcia usytuowanego w narożu prefabrykatu mierzy się po uprzednim przyłożeniu kątownika w taki sposób aby ramiona kątownika przylegały do prostokątnych powierzchni bocznych. Przy otworach o przekrojach kołowych mierzy się średnice prostokątnie do siebie.

Położenie otworów i wycięć oraz innych elementów wyposażenia, takich jak: uchwyty, marki stalowe, trzpienie ustala się przez pomiar ich odległości do krawędzi, osi symetrii lub od innych stałych punktów prefabrykatu oraz przez pomiar odległości między nimi. W praktyce do kontroli położenia w prefabrykacie elementów wyposażenia stosuje się sprawdziany kontrolne, określające minimalne i maksymalne odległości tych elementów od krawędzi prefabrykatu lub od stałych jego punktów. Sprawdzian nakłada się na kontrolowane elementy wyposażenia. Sprawdziany stosuje się również do kontroli rozstawu śrub w prefabrykacie ściennych. Są to sprawdziany typu nasadkowego.

Miejsca pomiaru elementów wyposażenia prefabrykatu zależą od ich rodzaju i kształtu. Średnice trzpieni, śrub, uchwytów i podobnych elementów mierzy się suwmiarką w dwóch prostokątnych do siebie kierunkach. Wymiar marek stalowych (blach) sprawdza się mierząc długość każdej krawędzi. Wymiary i usytuowanie elementów wyposażenia powinny odpowiadać wymaganiom dokumentacji projektowej w granicach określonych w niej dopuszczalnych odchyłek.

5.3.5. Sprawdzenie wytrzymałości na ściskanie betonu w prefabrykacie

Sprawdzenie wytrzymałości betonu w prefabrykacie na podstawie badania próbek

Przed przekazaniem prefabrykatu do magazynu wyrobów gotowych należy określić jego wytrzymałość na ściskanie f'_h , po zakończeniu składowania w hali produkcyjnej i porównać ją z wymaganą wytrzymałością składowania f_s . Wytrzymałość ta powinna być zbadana na próbkach o wymiarach $15 \times 15 \times 15$ cm, wykonanych takiego samego betonu jak prefabrykat i dojrzewających w tych samych warunkach i w tym samym czasie, jak to ma miejsce w wypadku badanego elementu. Przed wysłaniem prefabrykatu na budowę należy sprawdzić wytrzymałość wysyłkową betonu f_w . Powinna być ona sprawdzona w ten sam sposób co wytrzymałość f'_h . Wymagania dotyczące wytrzymałości składowania f_s i wytrzymałości wysyłkowej f_w są zróżnicowane ze względu na średnicę, temperaturę doborową:

$t_{sr\ dob} = \frac{t_7 + t_{13} + 2t_{21}}{4}$, gdzie t_7 , t_{13} , t_{21} oznaczają temperaturę o godzinie 7.00, 13.00, 21.00).

Według ogólnych zaleceń wytrzymałość wysyłkowa $f_w \geq 0,7 f_c$, natomiast przy $t_{sr\ dob} \leq +5^\circ\text{C}$ wytrzymałość składowania $-f_s \geq 0,7 f_c$. Z bardziej szczegółowych badań wynika, że wytrzymałość f_w i f_s w zależności od średniej temperatury dobowej, powinna wynosić: przy $+5^\circ\text{C} > t_{sr\ dob} > -5^\circ\text{C}$, $f_w \geq 0,85 f_c$, $f_s \geq 0,7 f_c$, a przy $t_{sr\ dob} < -5^\circ\text{C}$ $f_w = f_s = f_c$.

Gdy w terminie wysyłania prefabrykatu na budowę wytrzymałość betonu, badana na próbkach, jest niższa od wymaganej wytrzymałości wysyłkowej f_w , element należy pozostawić w magazynie wyrobów gotowych do czasu uzyskania tej wytrzymałości. Jeśli nie ma próbek do badania wytrzymałości betonu f_w , kontrola wytrzymałości powinna być prowadzona metodą nieniszczącą.

Sprawdzenie wytrzymałości betonu metodą sklerometryczną

Kontrolę wytrzymałości betonu w prefabrykacie metodami nieniszczącymi przeprowadza się przede wszystkim metodą sklerometryczną. Badania metodami sklerometrycznymi opierają się na pomiarach twardości betonu. Wykonuje się je przy pomocy młotków Schmidta (sklerometrów), które wskazują twardość, zwaną liczbą odbicia w badanym miejscu. Na podstawie pomiarów sklerometrycznych uzyskuje się informację o jakości wyłącznie powierzchniowej warstwy betonu, o grubości od 3 do 10 cm. Ocena betonu jest miarodajna, jeśli grubość elementu nie przekracza:

- 20 cm – przy dostępie jednostronnym,
- 40 cm – przy dostępie dwustronnym,
- 60 cm – przy badaniu co najmniej z trzech stron.

Do badania wytrzymałości prefabrykatów z betonu zwykłego stosuje się najczęściej młotek Schmidta typu N (normalny) o energii uderzenia 2,21 N·m. Opis działania młotka Schmidta podany jest obszernie w instrukcjach opracowanych przez ITB.

Miejsca do badań (co najmniej 12) powinny być rozłożone równomiernie na całej powierzchni prefabrykatu, w odległości nie mniejszej niż 3÷4 cm od krawędzi. Miejsce do badań jest powierzchnia betonu, wynosząca około 50 cm². Wykonywanie badań sklerometrycznych betonu jest niedopuszczalne w następujących miejscach:

- rakowatych, spękanych, skorodowanych, z widocznym zawilgoceniem, a także w miejscach nagromadzenia mleczka cementowego lub kruszywa grubego,
- znajdujących się w linii przebiegania przerw technologicznych w betonowaniu,
- betonu przemarzniętego,
- nad zbrojeniem konstrukcyjnym znajdującym się na głębokości do 3 cm od badanej powierzchni.

Dopuszczalne jest badanie betonu także w niektórych z wymienionych przypadków pod warunkiem usunięcia warstw wadliwych. Unikać należy badania prefabrykatów o małej sztywności. Dotyczy to elementów o grubości mniejszej niż 10 cm oraz elementów prętowych, których wymiar w kierunku działania przyrządu pomiarowego jest mniejszy niż 12 cm. Miejsca wyznaczone do badań oczyszcza się szczotką drucianą ze słabo przyczepionych cząstek i wygładza kamieniem ściernym. Przed przystąpieniem do badania należy także sprawdzić prawidłowość wskazań młotka na wzorcu kontrolnym. W każdym wybranym miejscu pomiarowym prefabrykatu należy wykonać co najmniej 5 odczytów liczby odbicia L . Każdy odczyt powinien być przeprowadzony w innym punkcie miejsca badań. Odległość między punktami pomiarowymi w miejscu badań powinna być nie mniejsza niż 2 cm. Odczyty różniące się od średniego dla danego miejsca więcej niż o 5 jednostek liczby odbicia należy odrzucić. Podczas badania młotek Shmidta powinien znajdować się w położeniu prostym do powierzchni prefabrykatu.

W wyniku pomiarów młotkiem Schmidta otrzymuje się co najmniej 60 odczytów liczb odbicia L . Wyniki pomiarów zestawia się w dzienniku pomiarów. Dla każdego miejsca badania należy obliczyć wartości średnich arytmetycznych odczytów L_i . Mając n danych wartości L_i , dla danego prefabrykatu oblicza się:

- średnią wartość liczby odbicia

$$\bar{L} = \frac{1}{n} \sum_{i=1}^n L_i \quad (5.1)$$

- odchylenie standardowe liczby odbicia

$$s_L = \sqrt{\frac{1}{n-1} \sum_{i=1}^n (L_i - \bar{L})^2} \quad (5.2)$$

- współczynnik zmienności liczb odbicia

$$\nu_L = \frac{s_L}{\bar{L}} \cdot 100\% \quad (5.3)$$

W celu określenia wytrzymałości na ściskanie niezbędne jest korzystanie z zależności empirycznej $f_c = f(L)$. Zależność ta powinna być wyznaczona w zakładzie prefabrykacji dla danego rodzaju betonu, z uwzględnieniem technologii wykonania prefabrykatu, warunków pielęgnacji oraz wieku i wilgotności betonu. Zależność tę wyznacza się metodą statystycznej analizy korelacyjnej wyników badania próbek betonowych, zwaną skalowaniem.

Gdy nie przeprowadzono skalowania, można skorzystać z istniejących zależności $f_c = f(L)$ (np. w PN-EN 12504), wyznaczonych dla betonu o zbliżonym składzie i wykonywanego w podobnych warunkach. Przydatność takiej zależności,

zwanej hipotetyczną, do oceny wytrzymałości betonu w prefabrykacji sprawdza się w następujący sposób. Należy wykonać 3 próbki z tej samej mieszanki z jakiej wykonuje się prefabrykat lub 9 próbek z mieszanki o takim samym składzie, specjalnie w tym celu przygotowanej. Przed zbadaniem wytrzymałości f_{ci} próbki należy za pomocą sklerometru wyznaczyć dla niej średnią wartość liczby odbicia L_i . Dla każdej średniej wartości liczby odbicia L_i wyznacza się z hipotetycznej zależności ($f_c = f(L)$) wartość f_{chi} , obliczając wcześniej współczynnik zmienności ν_L (według (5.3)). Po badaniach niszczących i nieniszczących próbek oblicza się ich średnią wytrzymałość (f_{cm}) i średnią liczbę odbicia L , dla której wyznacza się z hipotetycznej zależności średnią wytrzymałość (f_{cm})_h. Na podstawie uzyskanych danych oblicza się współczynnik korygujący wytrzymałość c_k wyznaczoną z hipotetycznej krzywej

$$c_k = \frac{f_{cm}}{(f_{cm})_h} \quad (5.4)$$

Wymagane jest, aby przy wykorzystaniu hipotetycznej zależności średnie kwadratowe odchylenie względne ν_k nie przekraczało 12%, tzn. aby był spełniony warunek:

$$\nu_k = \sqrt{\frac{1}{n-1} \sum_{i=1}^n \left(\frac{f_{coi} - f_{ci}}{f_{coi}} \right)^2} \cdot 100 \leq 12\% \quad (5.5)$$

gdzie:

n – liczba zbadanych próbek,

$f_{coi} = c_k \cdot f_{chi}$,

f_{ci} – zbadana wytrzymałość próbek metodą niszczącą.

Jeśli warunek (5.5) nie jest spełniony, nie można korzystać z danej zależności. Dla wyznaczonych wcześniej wartości: L , s_L , i ν_L według wzorów (5.1) ÷ (5.3), korzystając z dobranej w podany sposób zależności określa się wytrzymałość i wskaźniki charakteryzujące jakość betonu w badanym prefabrykacie:

f_{cm} – średnia wytrzymałość na ściskanie [MPa],

f_{min} – wytrzymałość minimalna [MPa] (odpowiadająca wytrzymałości charakterystycznej f_{ck}),

s_R – odchylenie standardowe wytrzymałości [MPa],

$\nu_r = \frac{s_R}{f_{cm}} \cdot 100$ – współczynnik zmienności wytrzymałości [%],

$k_R = \frac{f_{c,min}}{f_{cm}}$ – współczynnik jednorodności.

Podane wytrzymałości muszą być skorygowane, tj. pomnożone przez wartość współczynnika c_k . Na podstawie współczynnika zmienności v_R można ocenić jednorodność badanego betonu według kryteriów podanych w tablicy 5.4.

Tablica 5.4.

Wartości współczynnika zmienności v_R do oceny jednorodności w zależności od klasy wytrzymałości betonu

Ocena jednorodności betonu	Współczynnik zmienności v_R [%] dla betonu klasy	
	C8/10 – C20/25	C25/30 – C40/50
Bardzo dobra	< 10	< 7
Dobra	11 ÷ 13	8 ÷ 10
Średnia	14 ÷ 16	11 ÷ 13
Dostateczna	17 ÷ 20	14 ÷ 15
Niedostateczna	> 20	> 15

LITERATURA

1. PN-80/B-10021 Prefabrykaty budowlane z betonu. Metody pomiaru cech geometrycznych.
2. Smirnow M. i inni: Przemysłowa produkcja prefabrykatów. Ćwiczenia laboratoryjne. PWN, Warszawa, 1983.
3. PN-EN 12504-2:2002. Badania betonu w konstrukcjach. Część 2: Badania nieniszczące. Oznaczenie liczby odbicie.

Rozdział 6.

TRASOWANIE PREFABRYKOWANYCH KONSTRUKCJI STALOWYCH

6.1. Wprowadzenie

Trasowanie jest to czynność polegająca na naniesieniu linii lub punktów na powierzchni odlewów, odkuwek, blach itp. w celu wyznaczenia baz obróbkowych lub sprawdzenia możliwości wykrojenia z nich przedmiotów obrabianych.

Do trasowania potrzebne są specjalne przyrządy i narzędzia:

- rysik do wykreślania na trasowanym przedmiocie linii wg liniału lub wzornika,
- suwmiarka traserska z podstawą do wyznaczania linii poziomej,
- znacznik (składający się z podstawy, słupka i rysika) do tych samych celów co suwmiarka traserska),
- cyrkle traserskie zakończone ostrymi nóżkami do trasowania okręgów kół, do konstrukcji kątów, odkładania wymiarów itp.,
- punktak do punktowania wyznaczonych linii,
- liniał traserski z podstawą, który jest przyrządem pomocniczym do znacznika i cyrkli,
- kątownik do wyznaczania linii pionowych i poziomych,
- środkownik do wyznaczania środka na płaskich powierzchniach przedmiotów walcowanych,
- pryzma traserska – jako podstawka podczas trasowania niektórych przedmiotów walcowanych.

Ponadto w skład stanowiska traserskiego wchodzi płyta traserska, na której wykonuje się niemal wszystkie roboty traserskie.

6.2. Cel i zakres ćwiczenia laboratoryjnego

Celem ćwiczenia jest zapoznanie się z zasadami wykonywania baz obróbkowych lub sprawdzenia możliwości wykrojenia z blach elementów do prefabrykowanej konstrukcji stalowych.

Po zapoznaniu się z zasadami ogólnymi i wskazówkami dotyczącymi trasowania należy:

- na powierzchnię blachy stalowej nanieść warstwę kredy,
- nanieść główne osie trasowanych przedmiotów (zgodnie z danymi),
- nanieść wszystkie charakterystyczne wymiary,
- nanieść kontury zewnętrzne,
- wyznaczyć środki otworów, które będą wywiercane wiertarką,
- przeprowadzić kontrolę wymiarów (z dokładnością do 0,1 mm).

Sprawozdanie powinno zawierać:

- rysunek trasowanego elementu,
- rysunek rozmieszczenia elementów na płycie,
- wyniki kontroli wymiarów,
- wniosek

6.3. Metodyka badań

Przed przystąpieniem do trasowania należy przedmiot oczyścić i następnie pomalować go. Malowanie zwiększa widoczność linii kreślonych rysikiem na przedmiocie. Do malowania odlewów i dużych przedmiotów nieobrobionych stosuje się kredę rozdrobnioną w wodzie z dodatkiem oleju lnianego. Obrobione przedmioty stalowe lub żeliwne maluje się roztworem wodnym siarczanu miedzi. Powstaje wtedy na ich powierzchniach cienka warstewka miedzi wytrąconej przez żelazo z roztworu. Na tak przygotowanych przedmiotach kreślone linie są dobrze widoczne i trwałe. Wszystkie prace traserskie można podzielić na trasowanie na płaszczyźnie oraz trasowanie przestrzenne.

Trasowanie na płaszczyźnie wykonuje się w sposób podobny do kreślenia technicznego na papierze. Na płycie należy wyznaczyć środki otworów, które następnie będą wywiercone wiertarką. W tym celu za pomocą cyrkla traserskiego odmierza się i zaznacza rysą odległość środków otworów od brzegów płyty. Tak wyznaczone środki należy napunktować punktem.

Trasowanie przestrzenne polega na wyznaczeniu linii określających granice, do których należy zebrać materiał, gdy linie te leżą w różnych płaszczyznach. Trasowanie przestrzenne rozpoczyna się od wyznaczenia głównych osi przedmiotu, względem których wyznacza się następnie wszystkie pozostałe osie i linie. Zależnie od kształtu trasowanego przedmiotu ustawia się go bezpośrednio na płycie, na pryzmie traserskiej lub (w wielu wypadkach) w specjalnym przyrządzie.

Rozdział 7.

ANALIZA NOŚNOŚCI ZŁĄCZ NIEPODATNYCH W KONSTRUKCJACH DREWNIANYCH

7.1. Wprowadzenie

Do łączenia elementów w nowoczesnych konstrukcjach drewnianych stosowane są złącza. Złączem jest zespolenie elementów, zapewniające wzajemną ich współpracę. Jego zadaniem jest przenoszenie obciążeń. Złącza konstrukcji drewnianych można podzielić na podatne i niepodatne. Do grupy złączy niepodatnych należą złącza klejone.

Złącze klejone to część konstrukcji składająca się z minimum dwóch elementów połączonych ze sobą za pomocą kleju. Do łączenia elementów drewnianych stosowane są następujące rodzaje złączy klejonych: klinowe ukośne, nakładkowe, czołowe. Klejenie pozwala wykonywać konstrukcje o bardzo dużych rozpiętościach z desek o ograniczonych wymiarach. Umożliwia ona również użycie drewna mniejszych rozmiarów i gorszej jakości, ponieważ pozwala umieszczać je w strefach konstrukcji o mniejszym naprężeniu.

Do klejenia należy używać klejów charakteryzujących się dużą wytrzymałością i odpornością biologiczną oraz wodoodpornością. Najlepsze właściwości techniczne mają kleje rezorcynowe. Gorsze i znacznie trudniejsze w użyciu są kleje fenolowe. Oba wyżej wymienione rodzaje klejów można stosować do konstrukcji narażonych na zawilgocenia. Kleje stosowane do łączenia elementów drewnianych stanowią mieszaninę żywicy syntetycznej z utwardzaczem.

Produkcja elementów klejonych odbywa się w wyspecjalizowanych wytwórniach. Niezbędne jest odpowiednie wyposażenie i wyszkolony personel. Łączenie na klej małowymiarowej tarcicy umożliwia wykonanie elementów o znacznych długościach i dużych przekrojach, których nie otrzyma się z naturalnego drewna.

Elementy klejone warstwowo wykonywane są z desek z tarcicy sosnowej lub świerkowej. Szerokość tarcicy wynosi najczęściej od 90 do 200 mm, natomiast grubość, zgodnie z PN-81/B-03150, w elementach prostoliniowych powinna wynosić max 40 mm; w elementach krzywoliniowych grubość zależy od promienia krzywizny i powinna być mniejsza.

Wykonywanie elementów klejonych warstwowo składa się z następujących etapów:

- Sortowanie – tarcica przeznaczona na konstrukcje klejone powinna być posortowana według grubości, szerokości i długości;
- Układanie i suszenie – posortowaną tarcicę układa się w sztaplach. W poszczególnych sztaplach powinna znajdować się tarcica tej samej klasy i o tych samych wymiarach przekroju poprzecznego. Tak ułożona tarcica powinna suszyć się na wolnym powietrzu do momentu uzyskania wilgotności poniżej 30%. Kolejnym etapem jest suszenie drewna w komorach suszarnianych do wilgotności poniżej 15%. Stopień i jakość wysuszenia drewna ma istotny wpływ na wykonywanie konstrukcji klejonych. Najlepsze parametry sklejanego uzyskuje się przy wilgotności sklejanego elementu równej 10÷12%. Po zakończeniu suszenia przewidziany jest trzydobowy okres sezonowania tarcicy, co ma na celu wyrównanie lokalnych różnic wilgotności i rozładowanie powstających w drewnie naprężeń.
- Przygotowywanie powierzchni drewna i styków oraz łączenie tarcicy we wstęgi – czoło desek przycina się w miejscu styku pod kątem prostym do długości. Do łączenia desek na długości stosuje się złącza wieloklinowe (długość klina najczęściej wynosi 20 mm). Połączenia klinowe wykonuje się za pomocą frezów. Kolejnym etapem jest naniesienie kleju, a następnie sklejanie odcinków tarcicy w nieprzerwane pasmo tarcicy w prasie pod dociskiem podłużnym, równym 8÷10 MPa. Przy łączeniu tarcicy na długości należy zwrócić uwagę na gładkość powierzchni i wczepów i na prawidłowość działania urządzeń odpylających, ponieważ zanieczyszczenie i pyły obniżają jakość spoiny klejowej w złączu. Bezpośrednio po sklejeniu wstęgi następuje czterokrotne struganie pasma tarcicy w celu nadania płaszczyznom odpowiedniej gładkości oraz wyrównania ewentualnych różnic grubości poszczególnych odcinków tarcicy. Kolejno następuje przecinanie wstęg na zaprogramowane długości.
- Powlekanie powierzchni drewna klejem – klej rozprowadzany jest na drewnie za pomocą mechanicznej nakładarki. Grubość nanoszonej warstwy kleju powinno dobierać się w taki sposób, by pod naciskiem prasowania została wyciśnięta jak najmniejsza ilość kleju. Grubość warstwy kleju powinna wynosić 0,1 mm.
- Formowanie elementu – po naniesieniu kleju poszczególne warstwy tarcicy zestawia się w pakiet, który będzie odpowiadał zaprojektowanym wymiarom przekroju elementu. Tak przygotowane do prasowania elementy układa się w ściskach klejarskich. Szerokość i wysokość ścisków pozwala równocześnie ułożyć 2 lub 3 pakiety w płaszczyźnie poziomej i 4 lub 5 w płaszczyźnie pionowej. W wypadku elementów o kształcie prostoliniowym odstęp między głowicami dociskowymi powinien wynosić 0,4 m, a w wypadku elementów łukowych 0,3 m. Potrzebny do klejenia docisk prasy dla elementów prostoliniowych wynosi 0,6÷0,8 MPa przez 6÷14 h, a dla elementów krzywoliniowych 0,8÷1,2 MPa przez 12÷20 h. Czas prasowania elementów zależy od rodzaju kleju jak również od temperatury pomieszczenia.

- Sezonowanie sklejonnych elementów konstrukcyjnych – okres sezonowania powinien trwać 2 lub 3 doby, zależnie od grubości warstw i stopnia wygięcia. Jest to tzw. „czas dojrzewania spoiny klejowej”, w którym spoina uzyskuje odpowiednią wytrzymałość. Elementy składa się w stosach na przekładkach, które powinny być ułożone równolegle na równym podłożu, w odstępach 3÷4 m.
- Obróbka końcowa – po sezonowaniu elementy przenoszone są na stanowisko strugania. Tam elementy struga się na żadaną szerokość i wysokość przekroju. Następnie odbywa się obróbka ręczna, w której zakres wchodzi struganie wąskich płaszczyzn, wiercenie otworów, uzupełnianie ubytków i sęków, montowanie okuć i łączników. Po obróbce ręcznej elementy poddawane są impregnacji powierzchniowej – zabezpieczaniu przed korozją biologiczną i wilgocią, a następnie lakierowane.

7.2. Cel i zakres ćwiczenia laboratoryjnego

Celem ćwiczenia jest zapoznanie się z zasadami projektowania i technologią wykonywania złączy niepodatnych w prefabrykowanych elementach drewnianych z wykorzystaniem złączy klejonych.

Po zapoznaniu się z zasadami ogólnymi i wskazówkami dotyczącymi projektowania i wykonywania złączy klejonych prefabrykowanych elementów drewnianych należy:

- obliczyć nośność złącza klejonego nakładkowego typu G, uwzględniając dane podane w temacie,
- wykonać zaprojektowane złącze klejone nakładkowe typu G,
- sprawdzić nośność złącza na rozciąganie.
- Sprawozdanie powinno zawierać:
- opis i rysunek złącza,
- obliczenia nośności złącza,
- technologię wykonania złącza,
- ocenę jakości wykonanego złącza,
- wnioski.

7.3. Metodyka badań

7.3.1. Wyznaczenie nośności wykonywanego złącza

Nośność złącza wyznaczamy z uwagi na wytrzymałość drewna na ścinanie przy rozciąganiu osiowym (zakładamy, że wytrzymałość spoiny jest większa od wytrzymałości drewna).

$$F_{td} = l \cdot h \cdot 0,8 \cdot f_{vd} \quad (7.1)$$

gdzie:

- F_{ld} – nośność obliczeniowa [N],
 l – długość spoiny [mm],
 h – szerokość spoiny (próbki) [mm],
 f_{vd} – obliczeniowa wartość wytrzymałości na ściskanie wg normy [3] [N/mm²].

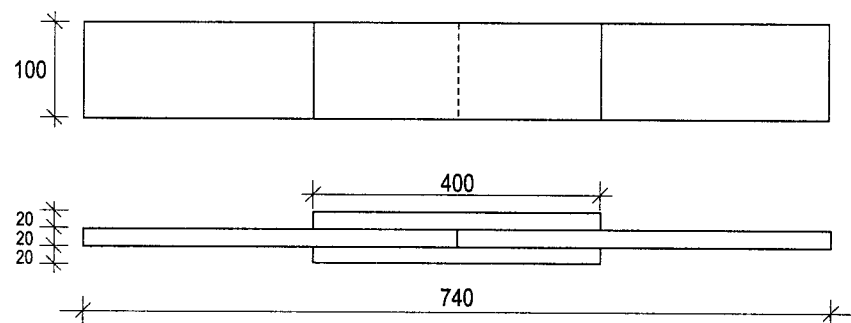
$$f_{vd} = k_{mod} \cdot f_{vk} / \gamma_M \quad (7.2)$$

gdzie:

- k_{mod} – częściowy współczynnik modyfikacyjny, uwzględniający wpływ czasu trwania obciążenia i zawartości wilgoci w konstrukcji na właściwości wytrzymałościowe, zależy od klasy użytkowania konstrukcji i od klasy trwania obciążenia wg normy [3],
 f_{vk} – wartość charakterystyczna wytrzymałości drewna na ścinanie wg normy [3],
 γ_M – częściowy współczynnik bezpieczeństwa dla właściwości materiału, dla drewna $\gamma_M = 1,3$ (wg normy [3])

7.3.2. Wykonanie złącza

Należy wykonać złącze klejone nakładkowe typu G jak na rys. 7.1.



Rys. 7.1.

Złącze klejone nakładkowe typu G – próbka do badań (wymiar w mm)

Po naniesieniu kleju należy umieścić próbkę w prasie na 20 min. Ciśnienie prasowania powinno wynosić 1 kN (jeżeli producent kleju nie sugeruje inaczej). Po sklejeniu próbki należy odstawić na 7 dni w celu uzyskania niezbędnej wytrzymałości spoiny.

7.3.2. Badanie na rozciąganie złącza

Próbkę należy zamocować w uchwytach maszyny i poddać działaniu siły rozciągającej wzdłuż osi próbki. W momencie zniszczenia próbki należy odczytać wartość maksymalnej siły.

Jeżeli zniszczenie próbki nastąpi nie po spoinie, ale po materiale, to zgodnie z normą [4] wytrzymałości spoiny nie określa się. Nośność złącza określa się jako wytrzymałość drewna na ścinanie, które wystąpiło podczas rozciągania osiowego.

Jeżeli zniszczenie próbek nastąpi po spoinie poprzez ścięcie, i ewentualnie w niewielkim stopniu po materiale, to zgodnie z normą [4] nośność złącza należy określić jako wytrzymałość spoiny na ścinanie przy rozciąganiu osiowym w MPa wg wzoru:

$$f_v = \frac{F_{max}}{l \cdot b} \quad (7.3)$$

gdzie:

- F_{max} – wartość siły niszczącej [kN],
 l – długość spoiny [mm],
 b – szerokość próbki [mm].

LITERATURA

1. Mielczarek Z.: Budownictwo drewniane. Arkady, 1994.
2. PN-B-03150:2000 Konstrukcje drewniane. Obliczenia statyczne i projektowanie.
3. PN-B-03156 Konstrukcje drewniane. Metody badań. Nośność złączy klejonych.
4. PN-EN 1194:1999 Konstrukcje drewniane – Drewno klejone warstwowo – Klasy wytrzymałości i określenie wartości charakterystycznych.
5. PN-EN 338:1995 Drewno konstrukcyjne – Klasy wytrzymałości

ANALIZA NOŚNOŚCI ZŁĄCZ PODATNYCH W KONSTRUKCJACH DREWNIANYCH

8.1. Wprowadzenie

Złącza podatne są to złącza na łączniki mechaniczne. Można je podzielić następująco:

- złącza na gwoździe pracujące na zginanie i na docisk,
- złącza na gwoździe wyciągane,
- złącza na sworznie i śruby,
- złącza na wkręty do drewna, pracujące na zginanie i docisk,
- złącza na wkręty do drewna, pracujące na wyciąganie,
- złącza na pierścienie gładkie rozcięte,
- złącza na pierścienie i wkładki zębate
- złącza na klocki,
- złącza na nakładki stalowe z żebrami,
- połączenia na wręby czołowe,
- wręby policzkowe,
- połączenia na zszywki,
- połączenia na klamry,
- łączniki innych typów.

We współczesnych konstrukcjach drewnianych gwoździ używa się przede wszystkim do mocowania różnego rodzaju uchwytów stalowych, służących do łączenia elementów klejonych. Są one wykonywane z drutu przeciąganego na zimno. Do konstrukcji drewnianych stosuje się przeważnie gwoździe o przekroju okrągłym i kwadratowym lub trójkątnym skręcanym. Średnica gwoździa powinna wynosić od 1/6 do 1/11 grubości najcieńszego z łączonych elementów.

Połączenie na śruby jest stosowane w stykach i węzłach konstrukcji drewnianych. Rolą takiego połączenia jest przeciwdziałanie wzajemnym przesunięciom łączonych elementów.

Sworznie są to proste odcinki wykonane najczęściej ze stali okrągłej, czasem także z rur stalowych lub tworzyw sztucznych. Grubość ich jest równa grubości łączonych elementów, powiększonej o 4÷5 mm. Są one wbijane maszynowo w nawiercone otwory. Średnica tych otworów powinna być około 1 mm mniejsza od średnicy sworzni. Najmniejsza średnica sworzni i śrub wynosi 10 mm, a największa 24 mm.

Wkręty stosuje się najczęściej do przymocowywania nakładek stalowych oraz innych elementów konstrukcyjnych i wyposażeniowych.

Wkładki wciskane (płytki zębate lub płytki kolczaste) dają możliwość przemysłowego wykonywania połączeń konstrukcyjnych w nowoczesnym budownictwie drewnianym i z tego powodu powinny znaleźć zastosowanie w budownictwie jednorodzinym, rolniczym i w wybranych gałęziach budownictwa przemysłowego.

Płytki kolczaste jednostronne typu MERIT-F są łącznikami mechanicznymi, w rozumieniu normy PN-81/B-03150. Wykonane są one z blachy stalowej ocynkowanej grubości 1,25 mm i wysokości kolca 10 mm. Powstają w wyniku rozcięcia, wygięcia i skręcenia z blachy. Powyższe płytki kolczaste przeznaczone są do łączenia na styk elementów kratowych konstrukcji drewnianych o tej samej grubości, przez wprasowanie z obu stron łączonych elementów po jednej płytce tej samej wielkości, bez dodatkowych elementów scalających. Różnica grubości łączących elementów nie może przekraczać 1 mm. Drewniane elementy konstrukcyjne połączone na płytki kolczaste jednostronne typu MERIT-F mogą być stosowane w obiektach, w których stała wilgotność powietrza nie będzie przekraczać 65%. Stosowanie ww. płytek w pomieszczeniach o podwyższonej wilgotności jest możliwe pod warunkiem dodatkowego ich zabezpieczenia przed bezpośrednim działaniem wilgoci. Konstrukcje nośne łączone za pomocą płytek kolczastych jednostronnych typu MERIT-F należy stosować w przypadku działania obciążeń statycznych.

Konstrukcje drewniane łączone za pomocą płytek kolczastych należy projektować według normy PN-81/B-03150, z drewna iglastego, odpowiadającego wymaganiom tej normy. Minimalna grubość tarcicy obrzynanej nie powinna być mniejsza niż 38 mm. Do impregnacji drewna należy stosować środki dopuszczalne do stosowania, niepowodujące korozji łączników mechanicznych.

Połączenia z wykorzystaniem profilowanych elementów stalowych są stosowane dla ułatwienia przyspieszenia montażu elementów drewnianych. Składanie konstrukcji drewnianych odbywa się na placu budowy. Profile wykonane są z blachy stalowej. Kształty łączników zostały dopasowane do typowych miejsc łączenia drewna w konstrukcjach drewnianych. Podczas wykonywania takiego złącza element stalowy łączy się z drewnem za pomocą gwoździ.

8.2. Cel i zakres ćwiczenia laboratoryjnego

Celem ćwiczenia jest zapoznanie się z zasadami projektowania i technologią wykonywania złączy w prefabrykowanych elementach drewnianych z wykorzystaniem jednostronnych płytek kolczastych typu MERIT-F.

Po zapoznaniu się z zasadami ogólnymi i wskazówkami dotyczącymi projektowania i wykonywania złączy prefabrykowanych elementów drewnianych z wykorzystaniem jednostronnych płytek kolczastych należy:

- obliczyć nośność złącza czołowego, uwzględniając dane podane w temacie,

- wykonać zaprojektowane złącze czołowe,
- sprawdzić nośność złącza na rozciąganie.

Sprawozdanie powinno zawierać:

- opis i rysunek złącza,
- obliczenia nośności złącza,
- technologię wykonania złącza,
- ocenę jakości wykonanego złącza,
- wnioski

8.3. Metodyka badań

8.3.1. Wyznaczenie nośności wykonywanego złącza

- nośność złącza na ściskanie

$$F = F_{lc} \cdot 2l_{ef} \quad (8.1)$$

gdzie:

- F – nośność złącza,
- F_{lc} – jednostkowa nośność obliczeniowa płytek kolczastych na ściskanie [N/cm],
- l_{ef} – szerokość pracująca płytki w złączu [cm],

- nośność złącza na rozciąganie oblicza się z uwagi na docisk kolców do drewna

$$F = F_1 \cdot 2A_{ef} \quad (8.2)$$

gdzie:

- F_1 – jednostkowa nośność obliczeniowa płytek kolczastych z uwagi na docisk kolców do drewna [N/cm²],
- A_{ef} – powierzchnia pracująca płytki w złączu [cm²].

W obliczeniach należy uwzględniać tzw. czynną powierzchnię obliczeniową płytki, odejmując powierzchnię pasm skrajnych o szerokości $c = 10$ mm oraz uwzględniając obszar ograniczony linią znajdującą się w odległości $0,55b$ od krawędzi łączonych elementów, gdzie b – długość płytki wzdłuż linii styku elementów łączonych według rys. 1. w *Aprobacie technicznej AT-15-2967/98* wydanej przez ITB. Minimalna odległość krawędzi płytki od krawędzi styku elementów łączonych powinna wynosić $d_E = 50$ mm.

Jednostkowe nośności obliczeniowe (F_{lc} , F_1) płytek kolczastych jednostronnych podano w tabelach 1. i 2. *Aprobaty technicznej AT-15-2967/98* w zależności od kątów α i β , gdzie:

α – kąt między kierunkiem działania siły i głównym (wzdłużnym) kierunkiem płytki,
 β – kąt między kierunkiem działania siły i kierunkiem włókien drewna w łączonych elementach.

W obliczenia nie uwzględnia się osłabienia drewna spowodowanego wprawianiem płytki.

8.3.2. Wykonanie złącza

Płytki jednostronne typu MERIT-F powinny być usytuowane w węźle symetrycznie, po obu stronach łączonych elementów. Po obu stronach węzła należy stosować płytki tej samej wielkości. Przy kształtowaniu węzłów niedopuszczalne są połączenia, w których osie łączonych elementów przecinałyby się poza powierzchnią płytki kolczastej.

Płytki należy wciskać w drewno za pomocą specjalistycznych urządzeń. Nie dopuszcza się wbijania płytek za pomocą młotka. Wartość siły ściskającej zależna jest od wielkości łączników oraz twardości drewna i waha się na ogół w granicach 50÷80 kN.

LITERATURA

1. Aprobata Techniczna ITB AT-15-2967/98: Płytki kolczaste jednostronne typu MERIT-F.
2. PN-80/7159-04/01 Konstrukcje z drewna i materiałów drewnopodobnych. Metody badań i kryteria oceny wytrzymałości złączy na łączniki mechaniczne. Badania.
3. PN-81/B-03150 Konstrukcje z drewna i materiałów drewnopodobnych. Obliczenia statyczne i projektowanie.

SPRAWDZENIE I OCENA JAKOŚCI WYKONANIA FORM STALOWYCH

9.1. Wprowadzenie

Podczas odbioru technicznego form, powinny być nie tylko dokonywane oględziny zewnętrzne, ale także sprawdzone następujące parametry:

- wymiary form między powierzchniami wewnętrznymi,
- wymiary ustalone przez projektanta między określonymi punktami formy,
- przekątne formy w celu sprawdzenia dokładności kątów,
- prostopadłość powierzchni boków i powierzchni kątów,
- odchylenia powierzchni podstawy i boków od płaszczyzn geometrycznych,
- wielkości odstępów w miejscach styków boków form z podstawą,
- miejsca zamocowania wkładek, trzpieni, detali itp.

Stuprocentowe sprawdzenie form powinno być przeprowadzone:

- przy odbiorze nowych form,
- po każdorazowym ich remoncie,
- po każdorazowej dłuższej przerwie w ich eksploatacji,
- gdy sprawdzenie wyrywkowe może spowodować niebezpieczny wypadek,
- po wyprodukowaniu z danej formy określonej dla niej liczby elementów.

Jakość formy powinna być również kontrolowana przy formowaniu doświadczalnym. Kontrolować należy przy tym:

- warunki składania i rozkładania formy,
- możliwość ułożenia zbrojenia w formie zgodnie z projektem,
- jakość zamocowania elementów, możliwość dokładnego wypełnienia mieszanką betonową wszystkich miejsc w formie,
- sztywność boków formy,
- sztywność całej formy w czasie zagęszczania w niej mieszanki betonowej jak również w czasie jej transportu,
- zachowanie się formy w czasie obróbki termicznej betonu w różnych jej punktach,
- warunki rozformowywania wyrobów,
- wymiary elementów prefabrykowanych wykonywanych w formie.

Rezultaty pomiarów gotowych elementów porównuje się z projektowanymi, z uwzględnieniem dopuszczalnych odchyłek. Po uzyskaniu zgodności wyników można przystępować do seryjnej produkcji elementów prefabrykowanych w sprawdzonych formach. W formach, w których znajdują się zwory do elektromagnetycznego przymocowywania do stojaków wibracyjnych, powinno być sprawdzone dodatkowe położenie tych zworów. W zakładach prefabrykacji dla należytego wykorzystania form powinna być prowadzona kartoteka pozwalająca na regularną kontrolę porównawczą wymiarów faktycznych z projektowanymi w odniesieniu do każdej formy. Kartoteka powinna obejmować także liczbę zaformowań od początku eksploatacji formy, zawierać dane o jej okresowych remontach, a także rezultaty okresowych kontroli wymiarów formy.

9.2. Cel i zakres ćwiczenia laboratoryjnego

Celem ćwiczenia jest zapoznanie się z wymaganiami w zakresie bieżącej i pełnej kontroli form w zakładzie prefabrykacji.

W ćwiczeniu tym należy sprawdzić formę do produkcji zadanego prefabrykatu, czyli ocenić jej jakość pod kątem:

- wymiarów formy między powierzchniami wewnętrznymi,
- przekątnych formy w celu sprawdzenia dokładności kątów,
- prostopadłości powierzchni boków i powierzchni kątów,
- odchylenia powierzchni podstawy i boków od płaszczyzn geometrycznych,
- wielkości odstępów w miejscach styków boków form z podstawą,
- miejsca zamocowania wkładek, trzpieni, detali itp.

9.3. Metodyka badań

Pomiar form przeprowadza się za pomocą sprawdzianów, które określają maksymalną i minimalną wielkość danego wymiaru w granicach przyjętej tolerancji.

Wymiary form dla belek i słupów sprawdza się w miejscach podanych na rys. 9.1.a., przy czym wykonuje się w jednym miejscu pomiar długości formy oraz w trzech miejscach pomiary poprzeczne szerokości i wysokości (w końcach i pośrodku formy).

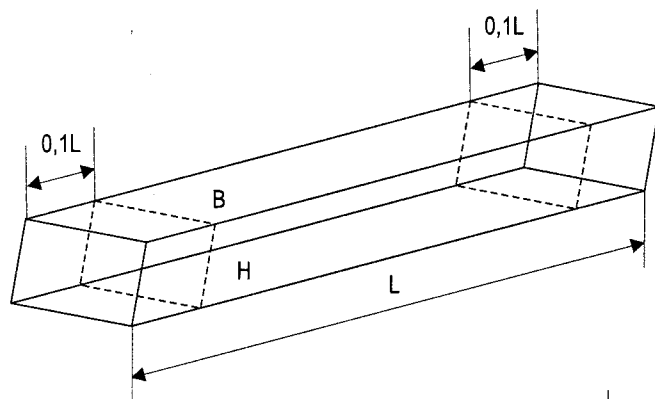
Wymiary form dla płyt i bloków sprawdza się w miejscach podanych na rys. 9.1.b., przy czym wykonuje się w trzech miejscach pomiary każdego rodzaju wymiaru (wysokość, długość i szerokość).

Rozmieszczenie wkładek w formie sprawdza się za pomocą pomiaru taśmą lub miarką stalową z podziałką milimetrową, przy czym co najmniej dla trzech zasadniczych punktów niepołożonych na jednej prostej.

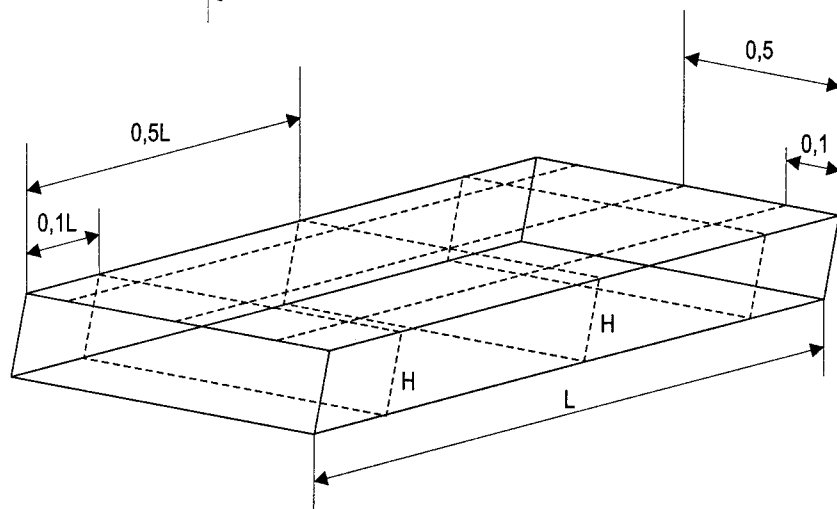
Kąty między bokami formy mierzy się za pomocą sprawdzianów, które określają maksymalną i minimalną wielkość danego kąta w granicach przyjętych

tolerancji. Gdy występują w formie kąty większe lub mniejsze niż 90° sprawdziany powinny być wykonane dla tych kątów, dla których dotrzymanie wielkości w granicach dopuszczalnych odchyłek jest przewidziane w projekcie.

a)



b)



Rys. 9.1.

Miejsca pomiarowe form: a) dla belek i słupów, b) dla płyt i boków

Sprawdzenie położenia punktów stałych formy przeprowadza się za pomocą sprawdzianów, które określają położenie punktów stałych na bokach formy, zapewniają zachowanie geometrycznych kształtów formy w granicach dopuszczalnych odchyłek, zapewniają zachowanie wymiarów formy w granicach przyjętych tolerancji. Pomiar wymiarów otworów, zagłębień, rozstawienie sworzni, trzpieni blach łącznikowych oraz innych elementów przeprowadza się za pomocą specjalnych sprawdzianów lub dodatkowych urządzeń, umocowanych na sprawdzianach do sprawdzenia wymiarów podstawowych.

Pomiar wymiarów formy przeprowadza się przesuwając sprawdzian wzdłuż całej formy, prostopadle do boków formy, między którymi znajduje się sprawdzany wymiar. Każdy wymiar mierzy się dwukrotnie, badając sprawdzianem czy znajduje się on w granicach minimalnego i maksymalnego dopuszczalnego wymiaru.

Pomiar wielkości kąta między dwoma bokami formy przeprowadza się przez dostawienie sprawdzianu w narożu do jednego boku formy i dosunięcie ruchomego ramienia do drugiego boku. Położenie wskaźnika określa, czy badany kąt znajduje się w granicach minimalnej i maksymalnej dopuszczalnej jego wartości.

Sprawdza się formę za pomocą sprawdzianów, których liczba i konstrukcja są zaprojektowane łącznie z projektem formy, tak aby zapewnić wystarczające sprawdzenie wszystkich tolerowanych wymiarów oraz kształtu geometrycznego formy.

Formę bada się za pomocą sprawdzianów każdorazowo po jej złożeniu przed przystąpieniem do stosowania.

W wypadku braku odpowiednich sprawdzianów podstawowym narzędziem do pomiaru wymiarów długościowych jest taśma miernicza. Ze względu na stopień dokładności taśm mierniczych stosowanie ich nie zawsze gwarantuje otrzymanie prawidłowych wyników pomiarów.

Przy określaniu dopuszczalnych tolerancji wymiarów gabarytów form można posilkować się następującymi wymaganiami:

- 1) W przypadku pomiarów odległości pomiędzy powierzchniami elementów oporowych w formach siłowych, w których naciąg zbrojenia sprężającego realizowany jest mechanicznie lub za pomocą elektronagrzewu, dopuszczalne tolerancje należy przyjmować z tablicy 9.1.

Tablica 9.1.

Dopuszczalne tolerancje wymiarów podstawowych w formach siłowych

Nominalna odległość pomiędzy częściami oporowymi formy [mm]	Dopuszczalne odchyłki, [mm]
od 4500 do 9000	± 2
od 9000 do 15000	± 3
od 15000 do 21000	± 4

- 2) Dopuszczalną nierównoległość powierzchni boków formy względem powierzchni górnego poszycia podkładu formy należy przyjmować z tablicy 9.2.

- 3) Odchylenia powierzchni roboczych formy od linii prostej na długości do 2,5 m nie powinno przekraczać 2 mm. Nieliniowość powierzchni roboczych formy, w przypadku gdy nie ma specjalnych wymagań wynikających z technologii produkcji może być określona z tablicy 9.3.

Tablica 9.2.

Dopuszczalna nierównoległość płaszczyzn wewnętrznych w formach

Wysokość boku formy, [mm]	Dopuszczalna nierównoległość, [mm]
do 150	1
od 150 do 450	1,5
od 450 do 800	2
powyżej 800	3

Tablica 9.3.

Dopuszczalna nieliniowość części roboczych form

Nominalny przedział długości części roboczej formy [mm]	Dopuszczalna nieliniowość, [mm]
do 2500	2
od 2500 do 4500	3
od 4500 do 9000	4
od 9000 do 15000	6
15000 do 21000	9

- 4) Dopuszczalne odchylenie od płaszczyzny utworzonej przez trzy narożniki podkładu formy, czwartego narożnika, może być sprawdzane według zależności zawartych w tablicy 9.4.

Tablica 9.4.

Dopuszczalne odchylenie jednego z czterech narożników w płaszczyźnie podkładu formy

Nominalny przedział długości podkładu formy [mm]	Dopuszczalne wychylenie z płaszczyzny podkładu przy szerokości: [mm]	
	do 2500	ponad 2500
do 2500	2	4
od 2500 do 4500	4	6
od 4500 do 9000	6	8
od 9000 do 15000	9	10
od 15000 do 21000	11	12

LITERATURA

1. Bielawski J., Chrabczyński G., Hładyniuk W.: Technologia prefabrykatów budowlanych. Wydawnictwa Politechniki Warszawskiej, Warszawa, 1978.

Rozdział 10.

KONTROLA PARAMETRÓW WIBROWANIA I STOSOWANE URZĄDZENIA WIBRACYJNE

10.1. Wprowadzenie

Kontrolę parametrów drgań urządzeń wibracyjnych można przeprowadzić za pomocą różnego typu urządzeń. Do pomiaru dynamicznych cech drgań stosowane są urządzenia konstruowane według różnych zasad, między innymi bardzo skomplikowane przyrządy elektroniczne. Ten typ aparatury nie musi być koniecznie wymagany do oceny cech wibratorów. Są to urządzenia bardzo drogie w powszechnym stosowaniu, a przy tym delikatne i wymagające fachowej specjalistycznej obsługi. Istnieją również rozwiązania bardziej proste, przydatne zarówno do badań jak i doraźnej kontroli warunków wibrowania w przemyśle budowlanym.

Z uwagi na dynamiczny charakter pracy urządzeń wibracyjnych stosuje się ogólny podział według :

a) częstotliwości drgań, rozróżniając przy tym urządzenia:

- niskiej częstotliwości – $10 \div 30$ Hz
- średniej częstotliwości – $30 \div 75$ Hz
- wysokiej częstotliwości – powyżej 75 Hz

b) charakteru drgań:

- harmoniczne przedrezonansowe
- harmoniczne rezonansowe
- asymetryczne periodyczne
- asymetryczne nieperiodyczne
- objętościowe (złożone)

c) postaci drgań:

- kołowe
- eliptyczne
- ukierunkowane (pionowe, poziome i pod określonym kątem do poziomu)

d) uzyskiwanych przyspieszeń:

- niskich – od 2 do 12 g
- średnich – od 12 do 25 g
- wysokich – powyżej 26 g ($g = 9,81 \text{ m/s}^2$)

Ruch, którego zapis dokonany jest w postaci funkcji sinusa lub kosinusa, nazywa się ruchem harmonicznym prostym. Opisać go możemy równaniem:

$$x = A \sin(\omega_1 t + \delta) \quad [\text{m}] \quad (10.1)$$

gdzie:

A – amplituda wychyleń [m],

t – czas [s],

ω_1 – częstość kołowa drgań równa:

Wielkość $(\omega_1 t + \delta)$ jest fazą drgań harmoniczných, a δ jest stałą fazową. Stała ta jest fazą początkową, zwaną też kątem przesunięcia fazowego.

Ważnymi cechami ruchu harmonicznego są zależności pomiędzy amplitudą wychyleń, prędkością i przyspieszeniem masy drgającej. Jeżeli wychylenie opisane jest równaniem (10.1) to prędkość wyniesie:

$$v = \frac{dx}{dt} = A\omega_1 \cos(\omega_1 t + \delta) = A\omega_1 \sin\left(\omega_1 t + \delta + \frac{\pi}{2}\right) \quad (10.2)$$

a przyspieszenie:

$$a = \frac{d^2x}{dt^2} = -A\omega_1^2 \sin(\omega_1 t + \delta) = A\omega_1^2 \sin(\omega_1 t + \delta + \pi) \quad (10.3)$$

Powyżej omówiono drgania swobodne. W procesie wibrowania mamy do czynienia nie ze swobodnym ruchem drgającym, ale z drganiami harmonicznymi wymuszającymi pod obciążeniem oraz obarczonymi zjawiskami tłumienia.

10.2. Cel i zakres ćwiczenia laboratoryjnego

Celem ćwiczenia jest zapoznanie się z metodami pomiarowymi parametrów wibrowania oraz urządzeniami stosowanymi do pomiarów.

Po zapoznaniu się z zasadami ogólnymi i wskazówkami dotyczącymi metod pomiarowych parametrów drgań urządzeń wibracyjnych należy:

- wyznaczyć punkty pomiarowe stołu wibracyjnego,
- dokonać pomiaru amplitudy i częstotliwości,
- obliczyć intensywność drgań i przyspieszenie drgań.

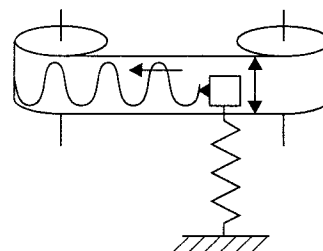
Sprawozdanie powinno zawierać:

- opis i schemat stołu wibracyjnego,
- rysunek rozmieszczenia punktów pomiarowych,
- wyniki pomiarów i obliczenia,
- wykresy rozkładu parametrów drgań,
- wnioski.

10.3. Metodyka badań

10.3.1. Pomiar amplitudy za pomocą pisaka

Najprostszym układem do pomiaru i graficznego zapisu amplitudy jest układ taśmy lub płytki oraz pisaka. Pisak zamocowany jest sztywno do drgającej masy, a taśma lub płytka przesuwa się prostopadle do kierunku wychyleń. Schemat ideowy układu pokazano na rys. 10.1.



Rys. 10.1.

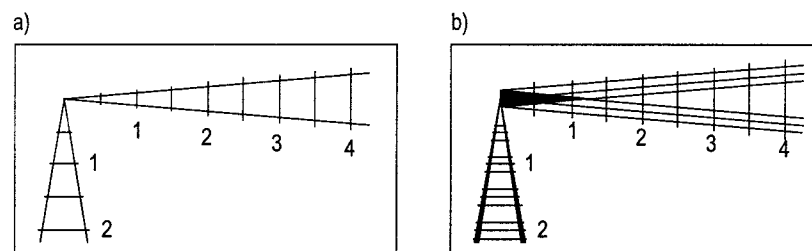
Pisak do zapisu amplitudy drgań

Jak widać z rysunku, pisak wykreśla na płytce lub taśmie krzywą drgań. Z wykresu przy pomocy lupy lub mikroskopu mierzy się szerokość maksymalnych wychyleń. Wielkość amplitudy równa się połowie zmierzonej wartości wychyleń. Jako płytkę stosuje się zakopcone szkło lub płytę fotograficzną, a jako taśmę naświetlaną i wywołaną błonę filmową lub specjalny woskowany papier.

10.3.2. Pomiar amplitudy za pomocą klina pomiarowego

Bardzo prosty i łatwy do wykonania nawet w warunkach polowych jest klin pomiarowy służący do pomiaru amplitudy drgań. Na tabliczkę pomiarową nanosi się dowolną skalę pionowych kresek dzielącą tabliczkę na jednakowe odcinki, następnie rysowuje się klin o możliwie najmniejszym kącie. Wielkość tego kąta warunkuje zakres dokładności odczytu.

Najczęściej stosowanym powiększeniem w pomiarze amplitudy jest stosunek 1:10. W tym wypadku długość mierzona w linii dwusiecznej kąta jest 20-krotnie większa od odcinka odpowiedniej działki zawartego pomiędzy ramionami ograniczającymi klin. Wymiary klina mogą być dowolne. Klina stosowane są w wyposażeniu stałym urządzeń wibracyjnych w postaci tabliczek, a na deskowniach w postaci naklejonych pasków papy jak na rysunku 10.2.



Rys. 10.2.

Klin pomiarowy naniesiony na boku formy:

a) w stanie spoczynku, b) w ruchu drgającym, przy $A = 1,25 \text{ mm}$

10.3.3. Pomiar amplitudy za pomocą wibrometru

Za pomocą mechanicznego wibrografu, zwanego tastografem można dokładnie zmierzyć amplitudę i częstotliwość drgań oraz odtworzyć ich postać. W przyrządzie tym drgania przejmowane są przez sztyft testujący dociskany sprężyną do drgającej masy. Sprężyna ta opiera się na śrubowym regulowanym zacisku umieszczonym w prowadnicach osłaniającej rurki, która wychodzi z korpusu obudowy tastografu. Drgania odbierane przez sztyft testujący, przenoszone są za pośrednictwem układu dźwigni i wałków na rylce pisaka, który na powłoce taśmy kreśli krzywą drgań. Przez zestawienie lub wymianę przekładniowego mechanizmu uzyskuje się graficzne zapisy o powiększeniach 2, 4, 5, 10 lub 20-krotnych. Na przesuwnej taśmie tastografu równocześnie z zapisem krzywej drgań można otrzymać zapis oznakowania czasu. W tym celu korzysta się z pomocniczego rylca z elektromagnetycznym zasilaczem. Nanoszona tym rylcem sinusoida kreśli odległość pomiędzy dwoma wzniesieniami w okresie $1/100$ s.

Wielkość amplitudy uzyskuje się z analizy pomiaru maksymalnych wychyleń z uwzględnieniem skali zapisu. Częstotliwość drgań określa się z porównania liczby cykli z częstotliwością 100 Hz rylca elektromagnesu, uzyskiwaną w tym samym odcinku zapisanej taśmy.

10.3.4. Pomiar amplitudy, prędkości i przyspieszenia za pomocą wibrotestu

Pomiary amplitud, prędkości i przyspieszeń drgań wykonuje się w każdym wyznaczonym punkcie pomiarowym na płycie stołu wibracyjnego. Pomiary powinny być wykonywane dopiero po ustabilizowaniu się drgań stołu wibracyjnego, a więc po pewnym czasie od jego uruchomienia (około 5 sek.).

10.3.5. Wyznaczenie punktów pomiarowych stołu wibracyjnego

W celu wyznaczenia punktów pomiarowych na dobrze oczyszczonej płycie stołu wibracyjnego rysuje się kredą siatkę pomiarową równoległą do boków stołu. Miejsca przecięć (punkty pomiarowe) oznacza się kolejnymi numerami. Korzystnie jest poprowadzić linie tak, aby punkty pomiarowe znalazły się nad charakterystycznymi pod względem konstrukcyjnym miejscami stołu wibracyjnego, np. nad punktami podparcia płyty, czy nad miejscem zamocowania źródła drgań.

10.3.6. Graficzny obraz rozkładu parametrów drgań

Wyniki pomiarów amplitudy wychyleń, prędkości i przyspieszeń dla wszystkich punktów stołu wibracyjnego należy umieścić w jednej tablicy. W dodatkowej rubryce zostawić miejsce na uwagi dotyczące usytuowania punktów pomiarowych.

Graficzną ilustrację uzyskanych wyników pomiarów drgań stanowić mogą rzędne, odpowiadające wartościom amplitud wychyleń, prędkości oraz przyspieszeń, naniesione nad punktami pomiarowymi.

LITERATURA

1. Bielawski J., Chrabczyński G., Hładyniuk W.: Technologia prefabrykatów budowlanych. Wydawnictwa Politechniki Warszawskiej, Warszawa, 1978.

OCHRONA PRZED HAŁASEM ORAZ WARUNKI BHP W ZAKŁADACH PREFABRYKACJI

11.1. Wprowadzenie

Problem bezpieczeństwa i higieny pracy w zakładzie prefabrykacji zasługuje na szczególne zainteresowanie. Zagrożenie personelu produkcyjnego zakładów prefabrykacji związane jest przede wszystkim z procesem formowania elementów. Przestrzeganie właściwych przepisów i zaleceń szczegółowych BHP może znacznie ograniczyć zagrożenia, a nawet całkowicie je wyeliminować. Zdecydowanie inaczej przedstawia się sprawa zagrożeń wynikających ze stosowania urządzeń do zagęszczania mieszanki betonowej. Są one bowiem źródłami hałasu i drgań, które przy natężeniach przekraczających określone wielkości mogą być przyczyną poważnych schorzeń pracowników. Wyeliminowane lub przynajmniej zmniejszenie tych zagrożeń jest szczególnie trudne. Problem ten przede wszystkim występuje przy zagęszczaniu mieszanek betonowych przez wibrowanie. Dotyczyć to jednak może również innych technik zagęszczania przyjmowanych w rozwiązaniach technologicznych zakładów prefabrykacji. W wielu przypadkach występowanie tych zagrożeń może być spowodowane nieprawidłowym zaprogramowaniem procesu formowania.

O wpływie hałasu na człowieka decyduje jego natężenie oraz okres oddziaływania. W praktyce dokonuje się jednak pomiaru nie natężenia dźwięku, lecz ciśnienia akustycznego (P_a). Używa się tu miary względnej, zwanej poziomem ciśnienia akustycznego (L), wyrażonej w decybelach (dB) $L = 20 \lg P_a/P_c$, gdzie P_c – ciśnienie odniesienia.

Na wielkość poziomu ciśnienia akustycznego mają wpływ różne czynniki, jak odległość od źródła, tłumienie w powietrzu, zmiany temperatury, zmiany wilgotności powietrza oraz występujące przedmioty, które mogą stanowić przegrody. Wrażenia słuchowe nie są zależne tylko od poziomu ciśnienia akustycznego (L), lecz również od częstotliwości (f). Stąd jako miarę fizjologiczną przyjmowania dźwięku wprowadzono pojęcie poziomu głośności, określanego w fonach. Poziomy głośności mierzone w fonach są liczbowo równe poziomowi ciśnienia akustycznego mierzonego w decybelach lecz wyłącznie dla dźwięku prostego o częstotliwości podstawowej 1000 Hz.

Przy poziomie głośności przekraczającym 120 dB może już występować uczucie bólu. Przy hałasie o poziomie głośności 160 do 170 dB mechaniczny wpływ drgań jest tak duży, że nawet w ciągu stosunkowo krótkiego czasu oddziaływania, normalna działalność organizmu zostaje sparaliżowana.

O wpływie drgań na człowieka decyduje przede wszystkim ich częstotliwość, amplituda oraz czas trwania. Drgania o małej częstotliwości i dużej amplitudzie wywołują napięcia w układzie utrzymującym narządy jamy brzusznej, natomiast drgania o wysokiej częstotliwości i małej amplitudzie mogą powodować szkodliwe oddziaływania na układ kostno-stawowy oraz zmiany naczyniowo-cuciowe.

Oddziaływanie hałasu i drgań w zakładach prefabrykacji można wyeliminować jedynie przy pełnym odizolowaniu procesu zagęszczania i jego zdalnym sterowaniu.

11.2. Cel i zakres ćwiczenia laboratoryjnego

Celem ćwiczenia jest zapoznanie się z przepisami prawnymi dotyczącymi dopuszczalnych wartości hałasu w środowisku pracy oraz zasadami wykonywania pomiarów poziomu hałasu w pobliżu stanowiska wibracyjnego. Po zapoznaniu się z zasadami ogólnymi i wskazówkami dotyczącymi metod pomiarowych należy:

- wykonać wstępne pomiary poziomu hałasu,
- sporządzić protokół wyników ze szkicem stanowisk pomiarowych,
- wykonać pomiary hałasu z osłoną (np. styropianową),
- ocenić wyniki pomiarów poziomu hałasu i podać wnioski.

Sprawozdanie powinno zawierać:

- szkic stanowisk pomiarowych,
- zestawienie wyników pomiarów i obliczenia,
- wnioski.

11.3. Metodyka badań

11.3.1. Wstępny pomiar poziomu hałasu w dB(A)

Wstępne pomiary poziomu hałasu przeprowadza się korzystając z miernika poziomu dźwięku z włączonym filtrem A. Wykonanie pomiaru w kilku miejscach ze szczególnym uwzględnieniem stanowisk pracy załogi pozwala zorientować się także w charakterze rozprzestrzeniania się hałasu wokół jego źródła.

Mikrofon w czasie wykonywania pomiarów powinien być umieszczony w miejscach, gdzie zwykle znajduje się głowa pracownika (pomiary powinny być wykonywane podczas jego nieobecności). Zaleca się umieszczenie mikrofonu w odległości nie mniejszej niż 1,0 m od ściany lub powierzchni silnie odbijającej,

1,2 m nad podłogą i 1,5 m od okien. Jeśli obecność pracownika w czasie pomiarów jest niezbędna (np. do obsługi maszyny), mikrofon powinien być umieszczony w odległości 0,1 m od ucha narażonego na wyższe poziomy ciśnienia akustycznego.

Do wyników wstępnych pomiarów poziomu dźwięku należy dołączyć szkic z zaznaczeniem źródła (lub kilku źródeł) dźwięku stanowisk pracy załogi oraz stanowisk pomiarowych, ich odległości od ścian itp. Niezbędne jest podanie rodzaju użytej aparatury.

11.3.2. Ocena wyników pomiarów

Hałas w środowisku pracy jest charakteryzowany przez następujące wskaźniki:

- poziom ekspozycji na hałas odniesiony do 8-godzinnego dobowego wymiaru czasu pracy i odpowiadająca mu ekspozycja dzienna lub poziom ekspozycji na hałas odniesiony do tygodnia pracy i odpowiadająca mu ekspozycja tygodniowa (wyjątkowo w wypadku hałasu oddziałującego na organizm człowieka w sposób nierównomierny w poszczególnych dniach w tygodniu),
- maksymalny poziom dźwięku A,
- szczytowy poziom dźwięku C.

Dopuszczalne ze względu na ochronę słuchu wartości hałasu obowiązują jednocześnie i nie mogą przekraczać wartości:

- poziom ekspozycji na hałas odniesiony do 8-godzinnego dobowego wymiaru czasu pracy nie może przekraczać 85 dB, a odpowiadająca mu ekspozycja dzienna nie może przekraczać wartości $3,64 \cdot 10^3 \text{ Pa}^2 \cdot \text{s}$ lub poziom ekspozycji na hałas odniesiony do tygodnia pracy nie może przekraczać wartości 85 dB, a odpowiadająca mu ekspozycja tygodniowa nie może przekraczać wartości $18,2 \cdot 10^3 \text{ Pa}^2 \cdot \text{s}$.
- maksymalny poziom dźwięku A nie może przekraczać wartości 115 dB,
- szczytowy poziom dźwięku C nie może przekraczać wartości 135 dB.

Gdy ze względów technicznych nie ma możliwości zmniejszenia hałasu poniżej wartości podanych powyżej, pracownicy są obowiązani stosować ochroniacze słuchu dobrane do wielkości charakteryzujących hałas. Strefy pracy wymagające stosowania ochroniaczy słuchu należy oznakować i odgradzić, a dostęp do nich ograniczyć.

W wypadku stwierdzenia nadmiernego poziomu hałasu występującego przy badanym stanowisku wibrowania mieszanki betonowej należy przede wszystkim zwrócić uwagę na możliwości zmniejszenia hałasu poprzez zmiany mocowania form do stołu oraz smarowanie, dokręcanie i usztywnianie poluzowanych części. Po przeprowadzeniu tych zmian o charakterze konstrukcyjnym i przy przestrzeganiu stałej konserwacji można wnioskować o zwiększenie chłonności akustycznej pomieszczenia i otoczenia stanowiska (wyłożenie ścian i stropu materiałami dźwiękochłonnymi, ustawienie ekranów akustycznych itp.), wprowadzenie indywidualnej ochrony słuchu (w zależności od poziomu oraz widma hałasu odpowiednie wkładki do uszu, nauszniki lub hełmy przeciwhałasowe), czy wreszcie podjęcie zmian o charakterze technologicznym i organizacyjnym wykorzystania stanowiska

formowania (skracać czas wibrowania elementów, skracać czas pracy brygady obsługującej stanowisko).

LITERATURA

1. Bielawski J., Chrabczyński G., Hładyniuk W.: Technologia prefabrykatów budowlanych. Wydawnictwa Politechniki Warszawskiej, Warszawa, 1978.
2. PN-86/M-47251 Maszyny i urządzenia budowlane. Dopuszczalny poziom dźwięku i metody badań.
3. PN-N-01307 Dopuszczalne wartości hałasu w środowisku pracy. Wymagania dotyczące wykonywania pomiarów.
4. Rozporządzenie Ministra Pracy i Polityki Społecznej z dnia 29 listopada 2002 r. w sprawie najwyższych dopuszczalnych stężeń i natężeń czynników szkodliwych dla zdrowia w środowisku pracy.

ANALIZA PRZYCZYN OBNIŻENIA JAKOŚCI PREFABRYKATÓW W PROCESIE PRODUKCJI

12.1. Wprowadzenie

W celu ułatwienia kontroli produkcji i określenia przyczyn obniżenia jakości prefabrykatów stosuje się następujące grupy ocen:

- nieprzestrzeganie technologiczno-produkcyjnej dyscypliny przez robotników produkcyjnych,
- niska jakość maszyn i urządzeń produkcyjnych,
- niska jakość materiałów i półfabrykatów,
- brak materiałów przewidzianych projektem,
- niedoskonałość zastosowanej metody produkcji,
- brak przewidzianych w projekcie maszyn i urządzeń produkcyjnych oraz powierzchni składowych,
- nietechnologiczność projektu prefabrykatów,
- odchylenia wymagań projektowych od wymagań ustalonych w przepisach i normach.

Największe obniżenie jakości prefabrykatów spowodowane jest nieprzestrzeganiem technologiczno-produkcyjnej dyscypliny przez robotników produkcyjnych i personel techniczny zakładów prefabrykacji. Do naruszenia wymagań jakościowych założonych w projekcie konstrukcyjnym zalicza się: niepełne wykonywanie badań kontrolnych, wadliwy odbiór, złe przechowywanie i transport materiałów i wyrobów, złe oznaczanie wyrobów, brak łączników, brak hydroizolacji itp.

Znaczne obniżenie jakości prefabrykatów związane jest z niską jakością stosowanych w produkcji maszyn i urządzeń. Dotyczy to głównie wyposażenia stanowisk formowania i form. Podstawowe naruszenie wymagań związane jest w tym wypadku z niedotrzymywaniem tolerancji, wymiarów liniowych długości, szerokości i grubości prefabrykatów, jak też z przesunięciem otworów i łączników.

Niska jakość materiałów powoduje obniżenie klasy betonu i zawyżanie gęstości pozornej betonów lekkich. Zachodzi to w wyniku złej pracy laboratorium zakładowego, które ponadto, dla złagodzenia wpływu niskiej jakości kruszyw, stosują często większą ilość spoiw. Często jest to spowodowane brakiem potrzebnych materiałów pomocniczych, takich jak np. olej lub emulsje antyadhezyjne. Zastąpienie ich innymi środkami powoduje niszczenie faktury, plamy na powierzchniach prefabrykatów itp.

Na jeszcze więcej odchyień wpływa zastosowana metoda produkcji. Przykładowo przy zastosowaniu metody agregatowo-potokowej, przy natychmiastowym rozformowaniu wyrobu po jego ukształtowaniu powstaje siatka rys o rozwarciu powyżej 0,1 mm. W formach bateryjnych na powierzchni prefabrykatów powstają raki, o średnicy i głębokości do 112 mm, po pęcherzykach powietrza itp.

Brak przewidzianego w produkcji prefabrykatu sprzętu i wyposażenia najczęściej do kontroli gotowych wyrobów, jest główną przyczyną obniżenia jakości prefabrykatów w miarę upływu czasu i powoduje często wzrost kosztów produkcji. Przy wzroście produkcji obserwuje się nadmierne zapełnianie magazynów gotowymi wyrobami, co prowadzi do nieprzestrzegania zasad składowania i pielęgnacji i utrudnia eksploatację.

W produkcji występuje też przesunięcie zbrojeń i łączników, często na skutek zaniedbania w projekcie prefabrykatu opisu sposobu stabilizacji, oraz odłupywanie betonu zwłaszcza przy wypuszczanym z prefabrykatu zbrojeniu i przy uchwytach montażowych.

12.2. Cel i zakres ćwiczenia laboratoryjnego

Celem ćwiczenia jest określenie przyczyn obniżenia jakości określonego prefabrykatu na podstawie wiedzy z zakresu technologii konstrukcji prefabrykowanych.

Po zapoznaniu się z możliwymi przyczynami obniżenia jakości prefabrykatów w produkcji należy:

- przeprowadzić analizę przyczyn obniżenia jakości prefabrykatu
- wyciągnąć wnioski i sformułować wymagania do dalszej produkcji.

Sprawozdanie powinno zawierać:

- protokół kontroli jakości danego prefabrykatu (sprawozdanie z ćwiczenia 5),
- protokół oceny jakości wykonania formy (sprawozdanie z ćwiczenia 9),
- opis przyczyn obniżenia jakości produkcji danego prefabrykatu,
- wnioski,
- wymagania do dalszej produkcji danego prefabrykatu.

LITERATURA

1. Bielawski J., Chrabczyński G., Hładyniuk W.: Technologia prefabrykatów budowlanych. Wydawnictwa Politechniki Warszawskiej, Warszawa, 1978.
2. Cieszyński K. i inni: Przemysłowa produkcja prefabrykatów. Technologiczność konstrukcji i elementów prefabrykowanych. PWN, Warszawa, 1983.
3. PN-80/B-10021 Prefabrykaty budowlane z betonu. Metody pomiaru cech geometrycznych.
4. Smirnow M. i inni: Przemysłowa produkcja prefabrykatów. Ćwiczenia laboratoryjne. PWN, Warszawa, 1983.

PRZYKŁADOWE SPRAWOZDANIA Z ZAJĘĆ LABORATORYJNYCH

SPRAWOZDANIE Z ZAJĘĆ LABORATORYJNYCH
z Technologii Konstrukcji Prefabrykowanych

Kod: BO7146

Ćwiczenie numer: A-0

Temat: Projektowanie składu i ustalanie receptury roboczej
dla zadanego rodzaju prefabrykatu

.....
(Imię i nazwisko studenta)

Rodzaj studiów: dzienne magisterskie

Kierunek studiów: Budownictwo

Specjalność:

Semestr: **VII** Grupa laboratoryjna:

Prowadzący ćwiczenia:

.....
(Data wykonania ćwiczenia)

OCENA

.....
(Data i podpis prowadzącego)

CEL I ZAKRES ĆWICZENIA LABORATORYJNEGO

Na podstawie danych technologicznych ustalić f_p i W/C, konsystencję i parametry urabialności mieszanki betonowej. Dla podanych założeń technologicznych, dla zadanej klasy betonu należy kolejno:

- ustalić wytrzymałość projektową f_p ,
- dobrać składniki mieszanki betonowej (rodzaj, gatunek, uziarnienie kruszywa drobnego i grubego),
- wyznaczyć C/W,
- dobrać konsystencję i urabialność mieszanki betonowej,
- ustalić punkt piaskowy kruszywa,
- ustalić gęstość pozorną kruszywa,
- wyznaczyć wodożądność kruszywa,
- zaprojektować stos okruszowy,
- wyznaczyć ilość składników mieszanki betonowej,
- sprawdzić warunek urabialności,
- sprawdzić ilość cementu w mieszance betonowej.

1. Zaprojektować skład mieszanki betonowej dla podanego rodzaju prefabrykatu, uwzględniając warunki jego formowania i dojrzewania, dla następujących danych:

- rodzaj prefabrykatu : *bloki obudowy metra*
- klasa betonu : *C40/50*
- konsystencja mieszanki betonowej: *V1*
- formowanie prefabrykatu: *mechaniczne – wibrowanie objętościowe*
- spadek wytrzymałości betonu w wyniku stosowanej obróbki cieplnej: *10%*
- warunki produkcji: *przemysłowe, $\sigma = 3,3$*
- składniki: $\Rightarrow$ cement: *CEM 52,5*

$\Rightarrow$ kruszywo:

kruszywo drobne:

piasek o składzie ziarnowym:

0÷0,125 mm	– 0,52%
0,125÷0,25 mm	– 5,67%
0,25÷0,5 mm	– 32,82%
0,5÷1 mm	– 33,59%
1÷2 mm	– 24,60%
2÷4 mm	– 2,80%

kruszywo grube:

naturalne frakcji:	–
łamane frakcji:	– 4÷8, 8÷16

2. Ustalanie wytrzymałości projektowej betonu f_p

Wytrzymałość charakterystyczna betonu na ściskanie oznaczana na próbkach sześciennych (tabl. 1.1 instrukcji ćwiczeń) $f_{ck,cube} = 50 \text{ MPa}$.

Wytrzymałość średnia betonu:

$$f_{cm} = f_{ck,cube} + 2 \cdot \sigma = 50 + 2 \cdot 3,3 = 56,6 \text{ MPa}$$

Wytrzymałość projektowa betonu:

$$f_p = \beta f_{cm} = 1,10 \cdot 56,6 = 62,26 \text{ MPa}$$

3. Dobór składu procentowego kruszywa

Na podstawie granicznych krzywych uziarnienia dobrać procentowy skład poszczególnych rodzajów kruszyw.

- piasek: *30%*
- kruszywo *łamane 4÷8: 20%*
- kruszywo *łamane 8÷16: 50%*

4. Ustalenie gęstości pozornej kruszywa

Stosując mieszankę kruszyw o różnej gęstości, należy obliczyć średnią gęstość pozorną mieszanki, uwzględniając udział wagowy lub procentowy kruszyw składowych:

$$\rho_k = \frac{K_1 + K_2 + \dots + K_n}{\frac{K_1}{\rho_{k1}} + \frac{K_2}{\rho_{k2}} + \dots + \frac{K_n}{\rho_{kn}}} = \frac{30 + 20 + 50}{\frac{30}{2,65} + \frac{20}{2,90} + \frac{50}{2,90}} = 2,82$$

gdzie:

- K_1 – procentowa zawartość kruszywa o gęstości ρ_{k1} , $\rho_{k1} = 2,65 \text{ kg/dm}^3$
- K_2 – procentowa zawartość kruszywa o gęstości ρ_{k2} , $\rho_{k2} = 2,90 \text{ kg/dm}^3$
- K_n – procentowa zawartość kruszywa o gęstości ρ_{kn} , $\rho_{kn} = 2,90 \text{ kg/dm}^3$

Uwaga: Gęstość kruszywa naturalnego (żwiru i piasku) $\rho_k = 2,65 \text{ g/cm}^3$, zaś kruszywa łamanego bazaltowego $\rho_k = 2,9 \div 3,0 \text{ kg/dm}^3$.

5. Wyznaczenie wodożądności kruszywa

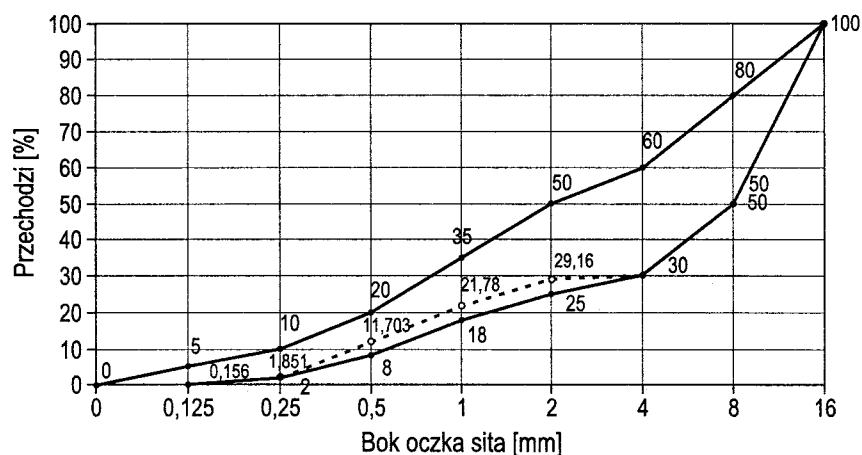
Wodożądność kruszywa można ustalić drogą obliczeniową, jako sumę iloczynów procentowych zawartości poszczególnych frakcji kruszywa przez odpowiadające im wskaźniki wodne. W tym celu należy znać skład procentowy kruszywa i korzystać z wskaźników wodnych podanych w tablicy 6 (instrukcji ćwiczeń).

Tablica 1.

Frakcja [mm]	Zawartość frakcji [%]	Suma frakcji [%]	Wskaźniki wodne frakcji [dm ³ /kg]	Wodożądność frakcji [dm ³ /kg]
0÷0,125	0,156	0,156	0,188	0,000293
0,125÷0,25	1,701	1,857	0,100	0,001701
0,25÷0,5	9,846	11,703	0,067	0,006597
0,5÷1	10,077	21,780	0,048	0,004837
1÷2	7,380	29,160	0,036	0,002657
2÷4	0,840	30,00	0,027	0,000227
4÷8	20	50,00	0,021	0,004200
8÷16	50	100,00	0,017	0,008500
Razem				0,029012

Wodożądność kruszywa wynosi $w_k = 0,029$

Sprawdzenie czy dobrany stos okruszowy mieści się w zalecanych krzywych uziarnienia.



6. Wyznaczenie ilości składników mieszanki betonowej

Wyznaczanie składników mieszanki betonowej zostanie przeprowadzone metodą trzech równań.

- warunek wytrzymałości betonu:

$$f_p = A (C/W - a)$$

dla $C/W \leq 2,5$ współczynnik $a = 0,5$, współczynnik $A = A_1$,

dla $C/W > 2,5$ współczynnik $a = -0,5$, współczynnik $A = A_2$,

w którym:

f_p – wytrzymałość projektowa betonu, MPa,

A, a – współczynniki zależne od wartości C/W i od jakości składników mieszanki betonowej.

- warunek konsystencji mieszanki betonowej:

$$W = C w_c + K w_k$$

gdzie:

w_c – wodożądność cementu przyjęta jako stała równa $0,23 \text{ dm}^3/\text{kg}$ (według Bolomeya),

w_k – wodożądność kruszywa, dm^3/kg ;

- warunek szczelności mieszanki betonowej:

$$\frac{C}{\rho_c} + \frac{K}{\rho_k} + W = 1000$$

gdzie:

ρ_c – gęstość cementu przyjęta jako równa $3,1 \text{ kg/dm}^3$,

ρ_k – gęstość pozorna kruszywa, kg/dm^3 .

7.1. Ustalenie wskaźnika C/W

Wyznaczenie wartości C/W:

dla $C/W \leq 2,5$

$$C/W = \frac{f_p}{A_1} + 0,5$$

z tabl. 4. instrukcji ćwiczeń $A_1 = 26$, czyli:

$$C/W = \frac{62,26}{26} + 0,5 = 2,89$$

Sprawdzenie warunków brzegowych:

$$1,2 < C/W = 2,89 \leq 2,5$$

Jeżeli warunek jest spełniony, to przechodzimy do dalszej części obliczania składu mieszanki betonowej. Jeżeli nie, to należy obliczenia przeprowadzić dla $W/C > 2,5$.

Ponieważ warunek nie jest spełniony, dalsze obliczenia prowadzimy dla $C/W > 2,5$

dla $C/W > 2,5$

$$C/W = \frac{f_p}{A_2} - 0,5$$

z tabl.4. instrukcji ćwiczeń $A_2 = 17,5$
czyli:

$$C/W = \frac{62,26}{17,5} - 0,5 = 3,06$$

Sprawdzenie warunków brzegowych:

$$2,5 < C/W = 3,06 < 3,2$$

7.2. Obliczenie ilości składników mieszanki betonowej

Dla $C/W = 3,06$, $\rho_k = 2,82 \text{ kg/dm}^3$ i $w_k = 0,029 \text{ dm}^3/\text{kg}$ na podstawie metody trzech równań wyliczamy skład mieszanki betonowej:

- warunek wytrzymałości betonu (z tego warunku został wyliczony C/W , czyli pierwsze równanie to:

$$C/W = 3,06$$

- warunek konsystencji mieszanki betonowej:

$$W = C w_c + K w_k$$

$$W = 0,23 C + 0,029 K$$

- warunek szczelności mieszanki betonowej:

$$\frac{C}{\rho_c} + \frac{K}{\rho_k} + W = 1000$$

$$\frac{C}{3,1} + \frac{K}{2,82} + W = 1000$$

Po rozwiązaniu układu trzech równań otrzymano następujący skład mieszanki betonowej:

$$W = 178 \text{ dm}^3/\text{m}^3$$

$$C = 545 \text{ kg/m}^3$$

$$K = 1820 \text{ kg/m}^3$$

w tym:

piasek	546 kg/m ³
kruszywa łamanego frakcji 4÷8	364 kg/m ³
kruszywa łamanego frakcji 8÷16	910 kg/m ³

8. Sprawdzenie warunku urabialności mieszanki

Objętość zaprawy w 1 m³ mieszanki betonowej wynosi:

$$Z = \frac{C}{\rho_c} + \frac{P}{\rho_p} + W \text{ [dm}^3/\text{m}^3]$$

$$Z = \frac{545}{3,1} + \frac{546}{2,65} + 178 = 559,8 \text{ dm}^3/\text{m}^3$$

i jest mniejsza/większa od ilości równej 600 dm³/m³, dopuszczalnej przez normę dla elementów ~~żelbetowych~~ przy stosowaniu kruszywa do 16 mm (tablica 1.5. instrukcji ćwiczeń).

Suma objętości ziaren poniżej 0,125 mm (w tym przypadku ziaren zawartych w piasku w ilości 0,52%) i cementu wynosi:

$$\frac{C}{\rho_c} + \frac{P_{0,125}}{\rho_p} = \frac{545}{3,1} + \frac{2,84}{2,65} = 177 \text{ dm}^3/\text{m}^3$$

i jest większa od wartości minimalnej równej 95 dm³/m³ dla warunków zagęszczania mechanicznych – wibrowanie objętościowe (tabl. 1.5. instrukcji ćwiczeń).

9. Sprawdzenie ilości cementu w mieszance betonowej

W przyjętym składzie ilość cementu wynosi 545 kg/m^3 i jest większa od ilości minimalnej, odpowiadającej konstrukcjom zbrojonym nienarażonym na wpływy atmosferyczne, równej $0,4 \cdot Z = 0,4 \cdot 559,8 = 224 \text{ kg/m}^3$, oraz mniejsza/większa od największej dopuszczalnej ilości cementu (dla betonu o wytrzymałości średniej $f_{cm} = 56,6 \text{ MPa}$) równej 550 kg/m^3 . (pkt. 1.1.12. instrukcji ćwiczeń).

Wnioski:

Mieszanka betonowa została zaprojektowana prawidłowo.

.....

.....

.....

.....

.....

.....

.....

.....

.....

.....

SPRAWOZDANIE Z ZAJĘĆ LABORATORYJNYCH z Technologii Konstrukcji Prefabrykowanych

Kod: BO7146

Ćwiczenie numer: A-1

Temat: Laboratoryjna weryfikacja składu mieszanki betonowej dla danego rodzaju prefabrykatu

.....
(Imię i nazwisko studenta)

Rodzaj studiów: *dzienne magisterskie*

Kierunek studiów: Budownictwo

Specjalność:

Semestr: VII Grupa laboratoryjna:

Prowadzący ćwiczenia:

.....
(Data wykonania ćwiczenia)

OCENA

.....
(Data i podpis prowadzącego)

CEL I ZAKRES ĆWICZENIA LABORATORYJNEGO

Dla podanych założeń technologicznych (ćwiczenie A-0) należy kolejno:

- sprawdzić konsystencję mieszanki betonowej,
- wykonać próbki do badań wytrzymałościowych betonu na ściskanie,
- zbadać – ocenić wytrzymałość betonu na ściskanie po 28 dniach dojrzewania.

1. Sprawdzenie konsystencji mieszanki betonowej

Przygotowano 8 dm³ mieszanki betonowej odważając:

0,008 · 178 = 1,424 kg wody,
0,008 · 545 = 4,360 kg cementu,
0,008 · 546 = 4,368 kg piasku,
0,008 · 364 = 2,912 kg kruszywa łamanego frakcji 4÷8,
0,008 · 910 = 7,280 kg kruszywa łamanego frakcji 8÷16.

Jeżeli ze wstępnej oceny wynika, że uzyskano założoną konsystencję, to wówczas sprawdzamy ją metodą Vebe.

Metoda Vebe:

Formę stożkową aparatu Vebe wypełniamy w 3 warstwach mieszanką betonową w ilości co najmniej 8 dm³, zagęszczając każdą warstwę 25-krotnym zagłębieniem pręta. Po odsunięciu leja wysypowego, wygładzeniu powierzchni przez zatarcie, zdjęciu formy stożkowej, oparciu swobodnym płyty na mieszance, włączamy wibrator i mierzymy czas (w sekundach) potrzebny do zetrąknięcia się całej powierzchni płyty z mieszanką betonową. Czas ten jest miarą konsystencji mieszanki betonowej.

Uzyskano wskaźnik konsystencji równy 24 s, co odpowiada konsystencji V1 (tablica 1.8 instrukcji ćwiczeń).

2. Wykonanie próbek do badania wytrzymałości betonu

Z gotowej mieszanki betonowej uformowano 6 próbek 10×10×10 cm, zagęszczając je na stole wibracyjnym o częstotliwości 50 Hz i amplitudzie drgań około 0,5 mm.

3. Badanie i ocena wytrzymałości betonu

W celu sprawdzenia wytrzymałości betonu o zaprojektowanym składzie wykonuje się minimum 3 próbki i przechowuje się je przez 1 dobę w formach, a następnie po rozformowaniu do 28 dni w warunkach laboratoryjnych, tj. w temperaturze 18÷22°C i wilgotności względnej powyżej 90%. Próbkę sze-

ścienną umieszcza się w prasie po obróceniu ich o 90° w stosunku do kierunku formowania. Jedną z płyt dociskowych prasy musi być wyposażona w przegub, a próbka powinna być umieszczona w sposób zapewniający osiowe przyłożenie obciążenia. Pomiędzy płyty dociskowe prasy i próbkę można włożyć wyłącznie gładkie podkładki stalowe grubości co najmniej 10 mm o wymiarach równych wymiarowi próbki. Prędkość przyrostu obciążenia powinna wynosić 0,2÷0,4 MPa/s przy przewidywanej wytrzymałości betonu mniejszej niż 20 MPa i 0,4÷0,6 MPa/s przy przewidywanej wytrzymałości betonu większej niż 20 MPa. Za wynik badania przyjmuje się największe obciążenie przeniesione przez próbkę w czasie badania. Wytrzymałość próbki oblicza się dzieląc wartość tego obciążenia przez powierzchnię docisku. Wyniki badania wytrzymałości betonu na próbkach sześciennych o krawędziach 10 cm i 20 cm należy odnieść do próbki o krawędzi 15 cm, uznanej jako podstawowa do tego badania. W tym celu należy wytrzymałość otrzymaną na próbce 10×10×10 cm pomnożyć przez 0,9, a na próbce 20×20×20 cm przez 1,05. Oceny wyników badania dokonuje się przez ocenę średniej arytmetycznej wyników wytrzymałości. Dla partii betonu zastosować można ograniczenie:

$$\frac{\sum f_{ci}}{n} > 0,9 f_p$$

Niespełnienie tego wymagania oznacza zwykle (po wykluczeniu błędów w odważaniu składników): zbyt małą wytrzymałość cementu lub inną, niż przyjęta do projektowania, wartość współczynnika A dla użytego cementu i kruszywa. Projektowanie należałoby wówczas powtórzyć, wykonując jeszcze raz próbki z mieszanki betonowej o tym samym składzie (w celu wykluczenia błędów przypadkowych) oraz dodatkowo z mieszanki o większej wartości wskaźnika C/W.

Próbki przechowywane do 28 dni w warunkach laboratoryjnych zbadano uzyskując następujące wyniki siły niszczącej:

próbka 1: 728 kN,
próbka 2: 713 kN,
próbka 3: 660 kN,
próbka 4: 680 kN,
próbka 5: 690 kN,
próbka 6: 715 kN,

co odpowiada wytrzymałości na ściskanie:

$$\text{próbka 1 : } \frac{728 \text{ kN}}{0,01 \text{ m}^2} \cdot 0,9 = 65,5 \text{ MPa ,}$$

$$\text{próbka 2 : } \frac{713 \text{ kN}}{0,01 \text{ m}^2} \cdot 0,9 = 64,2 \text{ MPa ,}$$

$$\text{próbka 3 : } \frac{660 \text{ kN}}{0,01 \text{ m}^2} \cdot 0,9 = 59,4 \text{ MPa ,}$$

$$\text{próbka 4 : } \frac{680 \text{ kN}}{0,01 \text{ m}^2} \cdot 0,9 = 61,2 \text{ MPa ,}$$

$$\text{próbka 5 : } \frac{690 \text{ kN}}{0,01 \text{ m}^2} \cdot 0,9 = 62,1 \text{ MPa ,}$$

$$\text{próbka 6 : } \frac{715 \text{ kN}}{0,01 \text{ m}^2} \cdot 0,9 = 64,4 \text{ MPa .}$$

Średnia arytmetyczna wyników wytrzymałości wynosi:

$$f_{cm} = \frac{65,5 + 64,2 + 59,4 + 61,2 + 62,1 + 64,4}{6} \text{ MPa} = 62,8 \text{ MPa}$$

i jest ~~mniejsza~~/większa od projektowanej $f_p = 62,26 \text{ MPa}$ oraz ~~mniejsza~~/większa od obliczeniowej wytrzymałości średniej, która wynosi $56,5 \text{ MPa}$.

Wnioski:

Zaprojektowany skład mieszanki betonowej jest prawidłowy.

SPRAWOZDANIE Z ZAJĘĆ LABORATORYJNYCH z Technologii Konstrukcji Prefabrykowanych

Kod: BO7146

Ćwiczenie numer: E-1

Temat: Analiza nośności złącz podatnych w konstrukcjach drewnianych

.....
(Imię i nazwisko studenta)

Rodzaj studiów: dzienne magisterskie

Kierunek studiów: Budownictwo

Specjalność:

Semestr: **VII** Grupa laboratoryjna:

Prowadzący ćwiczenia:

.....
(Data wykonania ćwiczenia)

OCENA

.....
(Data i podpis prowadzącego)

CEL I ZAKRES ĆWICZENIA LABORATORYJNEGO

Celem ćwiczenia jest zapoznanie się z zasadami projektowania i technologią wykonywania złączy w prefabrykowanych elementach drewnianych z wykorzystaniem jednostronnych płytek kolczastych typu MERIT-F.

Po zapoznaniu się z zasadami ogólnymi i wskazówkami dotyczącymi projektowania i wykonywania złączy prefabrykowanych elementów drewnianych z wykorzystaniem jednostronnych płytek kolczastych należy:

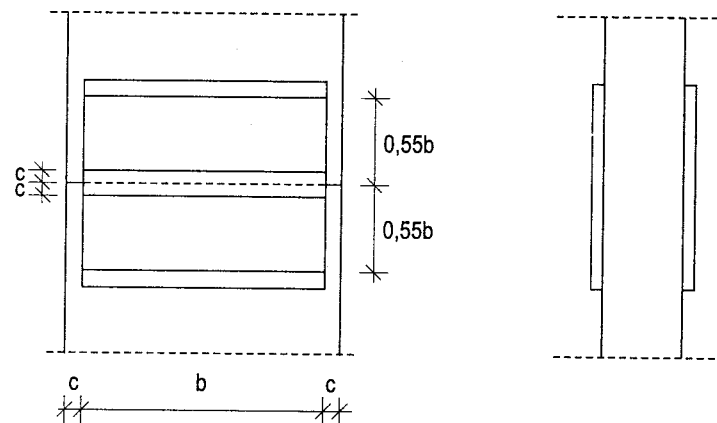
- obliczyć nośność złącza czołowego, uwzględniając dane podane w temacie,
- wykonać zaprojektowane złącze czołowe,

Połączenia podatne elementów drewnianych można podzielić na:

- złącza na gwoździe pracujące na zginanie i na docisk,
- złącza na gwoździe wyciągane,
- złącza na sworznie i śruby,
- złącza na wkręty do drewna pracujące na zginanie i docisk,
- złącza na wkręty do drewna pracujące na wyciąganie,
- złącza na pierścienie gładkie rozcięte,
- złącza na pierścienie i wkładki zębate
- złącza na klocki,
- złącza na nakładki stalowe z żebrami,
- połączenia na wręby czołowe,
- wręby policzkowe,
- połączenia na zszywki,
- połączenia na klamry,
- łączniki innych typów.

1. Opis i rysunek złącza

Wykonywane będzie złącze czołowe z wykorzystaniem jednostronnych płytek kolczastych MERIT-F jak na rysunku poniżej. Zastosowane będą płytki o wymiarach 100×150 mm. Grubość łączonych elementów drewnianych wynosi 40 mm, a szerokość 105 mm. W związku z powyższym $b = 95$ mm, a $0,55b = 52$ mm, c jest stałe i wynosi 10 mm.



2. Wyznaczenie nośności wykonywanego złącza

- nośność złącza na ściskanie

$$F = F_{1c} \cdot 2l_{ef} = 57 \cdot 2 \cdot 9,5 = 1083 \text{ N} = 1,083 \text{ kN}$$

gdzie:

F – nośność złącza

F_{1c} – jednostkowa nośność obliczeniowa płytek kolczastych na ściskanie, N/cm, dla $\alpha = 0^\circ$ $F_{1c} = 57 \text{ N/cm}$;

l_{ef} – szerokość pracująca płytki w złączu, cm (w rozpatrywanym przypadku $l_{ef} = b = 9,5$ cm).

- nośność złącza na rozciąganie oblicza się z uwagi na docisk kolców do drewna

$$F = F_1 \cdot 2A_{ef} = 100 \cdot 2 \cdot 79,8 = 15960 \text{ N} = 15,960 \text{ kN}$$

gdzie:

F_1 – jednostkowa nośność obliczeniowa płytek kolczastych z uwagi na docisk kolców do drewna, N/cm^2 , dla $\alpha = \beta = 0^\circ$ $F_1 = 100 \text{ N/cm}^2$.

A_{ef} – powierzchnia pracująca płytki w złączu, cm^2 (w rozpatrywanym przypadku $A_{ef} = (5,2 - 1,0) \cdot 9,5 \cdot 2 = 79,8 \text{ cm}^2$).

W obliczeniach należy uwzględnić tzw. czynną powierzchnię obliczeniową płytki, odejmując powierzchnię pasm skrajnych o szerokości $c = 10$ mm oraz uwzględniając obszar ograniczony linią znajdującą się w odległości $0,55b$ od krawędzi łączonych elementów, gdzie b – długość płytki wzdłuż linii styku elementów łączonych według rys. 1. w Aprobacie technicznej AT-15-2967/98 wydanej prze ITB. Minimalna odległość krawędzi płytki od krawędzi styku elementów łączonych powinna wynosić $d_E = 50$ mm.

Jednostkowe nośności obliczeniowe (F_{1c} , F_1) płytek kolczastych jednostronnych podano w tabl. 1. i 2. *Aprobaty technicznej AT-15-2967/98 w zależności od kątów α i β , gdzie:*

- α – kąt między kierunkiem działania siły i głównym (wzdłużnym) kierunkiem płytki,
- β – kąt między kierunkiem działania siły i kierunkiem włókien drewna w łączonych elementach.

W obliczeniach nie uwzględnia się osłabienia drewna spowodowanego wprasowaniem płytki.

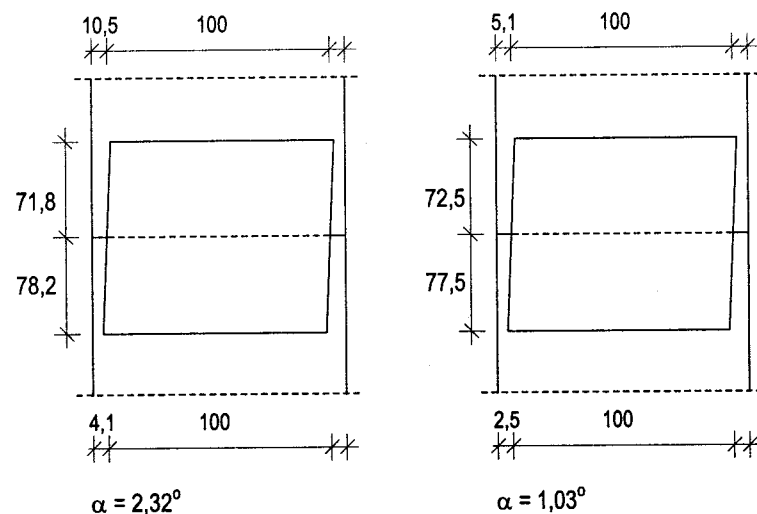
3. Technologia wykonanie złącza

Płytki jednostronne typu MERIT-F powinny być usytuowane w węźle symetrycznie, po obu stronach łączonych elementów. Po obu stronach węzła należy stosować płytki tej samej wielkości. Przy kształtowaniu węzłów niedopuszczalne są połączenia, w których osie łączonych elementów przecinałyby się poza powierzchnią płytki kolczastej.

Płytki należy wciskać w drewno za pomocą specjalistycznych urządzeń. Nie dopuszcza się wbijania płytek za pomocą młotka. Wartość siły ściskającej zależna jest od wielkości łączników oraz twardości drewna i na ogół waha się w granicach 50÷80 kN.

4. Ocena jakości wykonanego złącza (rysunek i opis)

Złącze zostało wykonane w prasie hydraulicznej. Płytki zostały wciśnięte siłą 64 kN



Wnioski:

Kąt α jest na tyle mały, że nie wpływa na nośność złącza. Niesymetryczne rozmieszczenie płytek względem środka złącza nie wpłynie na zmianę (zmniejszenie) powierzchni pracującej płytki A_{ef} (została zastosowana płytka kolczasta o większej długości niż niezbędnie wymagana). Złącze zostało wykonane prawidłowo.