

Mieczysław KRÓL
 Jerzy SZERAFIN
 Politechnika Lubelska

NOŚNOŚĆ BELEK ZELBETOWYCH W MŁODYM WIEKU

1. Uwagi wprowadzające

Pod określeniem "beton w młodym wieku" przyjęto uważać taki beton, którego czas normalnego dojrzewania nie przekroczył jeszcze 28 dni, * od chwili zaformowania. W okresie tym kształtują się wszystkie podstawowe cechy wytrzymałościowe i konstrukcyjne betonu. W tym okresie poprzez rozmaite zabiegi technologiczne można wpływać na rozwój w czasie właściwości betonu.

Do najważniejszych przesłanek, dla których niezbędna jest znajomość właściwości młodego betonu należą [3]:

- wymogi normy PN-88/B-03264, która nakazuje sprawdzanie konstrukcji w stadium realizacji,
- konieczność znajomości wytrzymałości międzyoperacyjnych w procesie prefabrykacji,
- zespół działań organizacyjnych na budowie, zdeterminowany szybkością nabywania cech wytrzymałościowych przez beton w toku wznoszenia konstrukcji.

2. Ocena dotychczasowego rozpoznania właściwości konstrukcyjnych młodego betonu

W wyniku przemian fizyko-chemicznych składników mieszanki betonowej dochodzi do narastania wytrzymałości i sztywności betonu, a w konsekwencji do spadku jego zdolności do odkształceń plastycznych. Na podstawie danych literaturowych można przyjąć, że w najważniejszym okresie, w wieku od 2 do 24 godzin świeży betor przechodzi fazę krytyczną, kiedy to jego wytrzymałość na rozciąganie jest jeszcze znikomo mała, zaś podatność na plastyczne odkształcenia już jest znacznie obniżona. Ta niekorzystna sytuacja powstaje na skutek szybszego narastania sztywności betonu, niż jego wytrzymałości [4]. W wyniku tych relacji występuje w młodym betonie zwiększona podatność na zarysowania, mogące powstać wskutek lokalnie występujących naprężeń wywołanych zjawiskami reologicznymi lub zewnętrznymi obciążeniami. W rezultacie powstają mikrorysy, które łączą się ze sobą i tworząc się obniżają znacznie wytrzymałość chwilową betonu.

Istnieje stosunkowo niewielka liczba danych doświadczalnych dotyczących zachowania się betonu w młodym wieku. Jednym z przykładów były badania na próbkach z zaprawy cementowej, przedstawione w pracy [2]. Wynika z nich, że we wczesnej fazie dojrzewania, do 11 godzin, zasadnicze znaczenie dla oceny próbek ma względny przyrost modułu sprężystości i wytrzymałości na ściskanie. Początkowo moduł sprężystości rośnie szybciej niż wytrzymałość, po czym po upływie ok. 5 godzin, następuje stosunkowo szybszy przyrost wytrzymałości. Oznacza to, że początkowa odporność belki na zarysowanie pod obciążeniem zewnętrznym jest znikomo mała, zaś po upływie 5 godzin wzrasta.

*) najwcześniejszym

Nie istnieje jak dotąd spójna teoria, pozwalająca przewidywać charakter zniszczenia belek żelbetonowych w zależności od czasu ich dojrzewania. Belki takie mogą ulec zniszczeniu w przypadku wyczerpania się ich nośności na ścinanie lub nośności na zginanie. Z opisanych w pracy [4] badań na belkach żelbetonowych, zbrojonych prętami podłużnymi i strzemionami wynika, że początkowo belka niszczy się przez ścinanie, zaś w późniejszym okresie przez zginanie. Ze względu na niewielką liczbę badanych belek, autorzy nie przedstawili metody przewidywania charakteru zniszczenia belki. Wyniki badań pochodzące z tej pracy sugerują, że nośność belek żelbetonowych na zginanie w młodym wieku uzależniona jest głównie od charakterystyki stali, tj. od takich jej cech jak: powierzchnia rozwinięcia, przyczepność, przekrój i ilość prętów. Mniejsze znaczenie ma wytrzymałość betonu na ściskanie. Autorzy pracy [4] proponują, aby wzory normowe do oceny nośności belek w młodym wieku na zginanie uzależnić od granicznego odkształcenia w skrajnym włóknie. Dochodzą do wniosku, że strzemiona wykazują w belkach z młodego betonu niską efektywność na ścinanie.

Czynnikiem zapewniającym prawidłową współpracę pomiędzy betonem a stalą zbrojeniową jest przyczepność między tymi dwoma materiałami. Według autorów pracy [1], wytrzymałość na przyczepność betonu w wieku do 5-u dni jest znacznie przeceniana, a przyczepność betonu do prętów gładkich, w przeciwieństwie do prętów zbrojonych, jest tylko w niewielkim stopniu skorelowana z jego wytrzymałością na ściskanie.

3. Przedmiot, zakres i wyniki badań własnych

Zasadniczym celem badań na belkach badawczych była ocena nośności i odkształcalności belek żelbetonowych pod obciążeniem doraźnym w funkcji czasu ich dojrzewania.

O nośności i odkształcalności elementów żelbetonowych decydują:

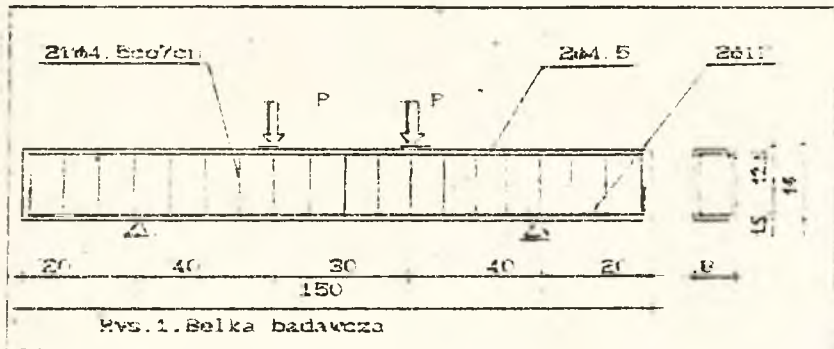
- charakterystyka geometryczna i wytrzymałościowa przekroju betonowego,
- przekrój zbrojenia i jego rozmieszczenie,
- schemat badawczy i charakter obciążenia elementu.

Badania przeprowadzane były na żelbetonowych belkach badawczych, wykonanych z betonu o tej samej recepturze. Badania realizowano na seriach belek B1, B3, B7, B14 i B28 po 1, 3, 7, 14 i 28 dniach dojrzewania naturalnego betonu.

W każdym z tych terminów badano serię składającą się z trzech elementów badawczych. Łącznie dla pięciu serii wykonano badania na piętnastu belkach. Ponadto każdej serii towarzyszyły badania uzupełniające na próbkach kostkowych o boku 15 cm. Wszystkie belki i próbki wykonano z jednego składu betonu.

Zbrojenie zostało dobrane zgodnie z wymaganiami normowymi przy założeniu, że beton w belkach osiągnie wytrzymałość umowną po 28 dniach dojrzewania naturalnego $R_p = 25 \text{ MPa}$

Wymiary geometryczne przekroju betonowego, rozmieszczenie zbrojenia oraz schemat statyczny belki przedstawiono na rys.1



Wszystkie czynności i prace obejmujące: zafundowanie belek, pomiary ugięć czujnikami zegarowymi, pomiary przecięgu i szerokości rozwarścia rys oraz rejestrację siły niszczącej zostały zrealizowane w laboratorium Wydziału Inżynierii Budowlanej i Sanitarnej w Politechnice Lubuskiej. Obciążenie realizowano w postaci dwóch sił skupionych (rys.1), przekazywanych poprzez stalowe podkładki na belkę, za pomocą uładu dźwigniowego. Obciążanie belki zachodziło w kolejnych fazach, droga zwiększania siły obciążającej, aż do zniszczenia elementu. Przy obciążeniu siłą 1kN następowała stabilizacja układu badawczego i zerowanie tensometrów zegarowych. Następnie zwiększano łazami obciążenie i dokonywano pomiarów. Dla belek serii B1 i B3 kolejne etapy obciążień wzrastały co 500kN każdorazowo, aż do zniszczenia. Belki z serii B7, B14 i B20 były obciążane etapami co 1000kN. Podstawowe wielkości badawcze zestawiono w tabelicy 1.

Lp	Oznaczenie belki	Wart. siły niszczenia [kN]	Wart. średn. [kN]	Wytrzymałość próbki kostkowych [MPa]	
1	B1/I	28.50		7.3	
2	B1/II	28.70	28.63	7.38	7.84
3	B1/III	28.40		7.6	
4	B3/I	41.00		18.81	
5	B3/II	44.70	44.60	19.11	19.07
6	B3/III	46.00		19.42	
7	B7/I	49.60		18.69	
8	B7/II	50.00	49.94	21.76	20.22
9	B7/III	50.00		20.00	
10	B14/I	48.50		26.04	
11	B14/II	49.25	49.22	27.56	27.64
12	B14/III	49.00		27.33	
13	B20/I	48.50		29.64	
14	B20/II	48.50	48.33	32.31	31.02
15	B20/III	48.00		31.11	

TABL.1. Podstawowe wielkości badawcze

4. Analiza wyników badań

Analizując wyniki badań belek żelbetonowych pod obciążeniem doraźnym, należy wziąć pod uwagę stochastyczny charakter młodego tworzywa betonowego, mającego istotny wpływ na stosunkowo duży rozrzut wyników, zwłaszcza opisujących stany graniczne użytkowania. Jako przykładowe czynniki wpływające losowo na rezultaty pomiarów w toku samych badań można wymienić w szczególności:

- nierówność płaszczyzn docisku,
- przypadkowe, duże ziarna kruszywa w pobliżu miejsc przyłożenia siły,
- nieosiłowe ustawienie próbek i elementów pod prasą,
- różnice w szybkości przyrostu siły nacisku itp.

Ze schematu obciążenia i podparcia belki wynika, że w strefie środkowej, leżącej między punktami przyłożenia sił zachodzi czyste zginanie. Ścinanie zachodzi w strefach przypodporowych tzn. między punktem przyłożenia siły a punktem podparcia. Dla założonego schematu i wymiarów belki wskaźnik ścinania $D = a/h_0 = 4.0/12.5 = 3.2$.

Na podstawie wyników badań wytrzymałości próbek kostkowych na ściskanie określono średnie wytrzymałości obliczeniowe betonu na ściskanie i na rozciąganie w belkach, posługując się wzorami [1] i [2]:

$$\bar{R}_b = (0.77 - 0.001 \bar{R}_{\phi 15}) \bar{R}_{\phi 15} \quad [1]$$

$$\bar{R}_{bz} = (0.33 - 0.0005 \bar{R}_b) \sqrt[3]{\bar{R}_b^2} \quad [2]$$

Odpowiednie wartości obliczeniowe dla belek serii B1 do B28 zestawiono w tabeli 2.

W strefie czystego zginania, powinna zachodzić równość (w stanie granicznym) momentu zginającego zewnętrznego i wewnętrznego, czyli $M_z = M_w$, zaś:

$$M_z = P_n \cdot a; \quad M_w = \bar{R}_b \cdot b \cdot x_0 (h_0 - x/2) \quad [3]$$

Zakładając dalej, że zasięg strefy ściskanej x_{max} w chwili zniszczenia osiąga wartość stałą we wszystkich belkach, bez względu na czas dojrzewania, można ustalić zależności proporcjonalne

$$P_{t,n} / P_{28,n} = \bar{R}_{b,t} / \bar{R}_{b,28} \quad \text{lub} \quad P_{t,n} = (\bar{R}_{b,t} / \bar{R}_{b,28}) P_{28,n} \quad [4]$$

W tej zależności siła niszcząca belkę w strefie czystego zginania jest proporcjonalna do wytrzymałości tego betonu na ściskanie.

Ponieważ część belek niszczyła się ze względu na ścinanie, w analizie wyników badań ujęto także zależność siły niszczącej występującej na skutek działania sił poprzecznych, od parametrów wytrzymałościowych belki. Z analizy nośności belki w przekroju ukośnym można uznać, że względna zmiana granicznej nośności na ścinanie jest wprost proporcjonalna do pierwiastka kwadratowego z wytrzymałości względnej betonu na ściskanie, co obrazuje zależność [5]

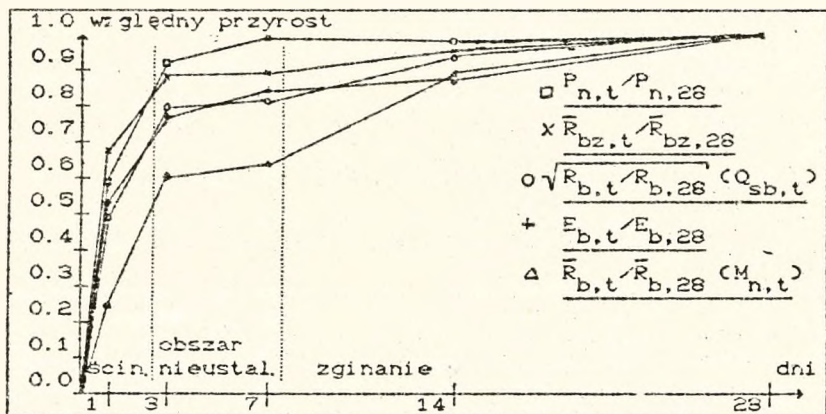
$$P_{n,t}/P_{n,28} = \sqrt{R_{b,t}/R_{b,28}} \quad [5]$$

Zależności opisane wyrażeniami [4] i [5] zestawiono w tabeli 2

Wiek betonu [dni]	$P_{n,t}$	$R_{b,t}$	$R_{0,15,t}$	$R_{bz,t}$	$E_{b,t}$	$\sqrt{R_{b,t}}$
	$P_{n,28}$	$R_{b,28}$	$R_{0,15,28}$	$R_{bz,28}$	$E_{b,28}$	$\sqrt{R_{b,28}}$
1	2	3	4	5	6	7
1	0.59	0.25	0.24	0.66	0.53	0.50
3	0.93	0.62	0.62	0.87	0.77	0.79
7	1.03	0.65	0.65	0.89	0.84	0.81
14	1.02	0.90	0.89	0.97	0.89	0.95
28	1.00	1.00	1.00	1.00	1.00	1.00

TAB. 2. Względne zmiany param. wytrż. i nośn. belek

Rezultaty badań wytrzymałości i nośności badanych belek przedstawiono na rys. 2. Ogólny przebieg wykresów jest zgodny z oczekiwaniami, z wyjątkiem wyników badań na belkach i kostkach 7 dniowych. Mianowicie nośność belek 7 dniowych osiąga wartości porównywalne z nośnością belek 28 dniowych, natomiast narastanie wytrzymałości betonu w tym okresie zostało spowolnione. Niezbędna jest dalsza weryfikacja doświadczalna tej serii belek. Dodatkowe badania pozwoliłyby stwierdzić, czy te relacje to prawidłowość, czy też przypadek losowy możliwy do wystąpienia ze względu na czynniki wymienione powyżej. Natomiast ogólną zgodność rozwoju w czasie posiadają krzywe nośności belek oraz krzywe rozwoju modułu sprężystości, pochodzące z badań opisanych w [6].



Rys. 2. Zmiana wzgl. wart. wytrż., mod. spręż. i sił niszc.

5. Wnioski końcowe

W oparciu o dostępne dane literaturowe z problematyki właściwości młodego betonu oraz rezultaty badań własnych uzyskanych na belkach żelbetowych, można sformułować następujące wnioski:

1. Posługując się wzorami normowymi dla betonu dojrzałego do określenia nośności na zginanie i ścinanie belek żelbetowych w młodym wieku, uzyskuje się rezultaty odbiegające od nośności ustalonej doświadczalnie na belkach z młodego betonu. Do wzorów normowych należałoby wprowadzić korekty uwzględniające relacje właściwości wytrzymałościowych młodego betonu. Przeprowadzone badania nie dają jeszcze podstaw do zaproponowania odpowiednich uzupełnień, lecz potwierdzają potrzebę przeprowadzenia dalszych badań w tym zakresie.

2. Wykorzystując wzory normowe do określenia nośności belek żelbetowych z uwzględnieniem współczynników korekcyjnych ze względu na wiek betonu, uzyskuje się niższe obliczeniowe nośności w porównaniu do nośności doświadczalnych, uzyskanych na belkach z betonu o różnym stopniu dojrzałości.

3. Stwierdzono doświadczalnie różny charakter zniszczenia belek żelbetowych w zależności od wieku betonu. Spostrzeżenia te można uogólnić następująco:

- belki o dojrzałości do 3 dni niszczą się w strefie przypodporowej na ścinanie,
- belki w wieku ponad 7 dni niszczą się w strefie ściskanej betonu ze względu na zginanie,
- belki w okresie od 3 do 7 dni mogą ulec zniszczeniu zarówno ze względu na zginanie, jak i ścinanie.

4. Pomimo, że wytrzymałości betonu w belkach 7, 14 i 28 dniowych różnią się, to jednak nośności belek żelbetowych wykonanych z tego betonu są bardzo zbliżone, różnica ta nie przekracza 3%. Fakt ten można wytłumaczyć osiągnięciem przez stal w prętach zbrojeniowych granicy plastyczności zanim nastąpiło zniszczenie betonu w strefie ściskanej. Wskutek uplastycznienia się stali strefa ściskana w balce zmniejszyła się, na tyle, że niewielkie w istocie różnice wytrzymałości betonu nie miały znaczenia dla nośności belki, o której zdecydowało osiągnięcie granicy plastyczności w stali.

6. Literatura

- [1] Chapman R.A., Shah S.P.: Early-Age Bond Strength in Reinforced Concrete ACI 1987
- [2] Fount F.R., Fuhr H.L.: Behavior of Portland Cement Mortar in Flexure at Early Ages. Properties of Concrete at Early Ages. ACI 1986
- [3] Król M.: Struktura i właściwości wytrzymałościowe młodego betonu. 1990
- [4] Shah S.P., Miller R.A., Virding T.E.: Early-Age Shear Strength of Reinforced Concrete Beams. ACI 1988
- [5] Weigler A., Karl G.: Beton-Arten, Herstellungen, Eigenschaften. Ernst and Son 1989
- [6] Wojtowicz K., Żuraw J.: Badania charakterystyk wytrzymałościowych młodego betonu. WIBiS PL 1991