

ROMAN PUDLIK

ROLA TECHNIKI BADANIA PRZY OKREŚLANIU WYTRZYMAŁOŚCI  
NA ŚCISKANIE BETONU LEKKIEGO Z KRUSZYWA "KNURÓW"

**Streszczenie.** W artykule podano opis materiałów użytych do produkcji laboratoryjnej betonu lekkiego marki "300" oraz omówiono sposób wykonywania mieszanek i próbek.

Przeprowadzono następnie dyskusję nad sposobem badania wytrzymałości betonu na ściskanie, podkreślając wpływ centrycznego przyłożenia siły ściskającej oraz wyrównania czoł próbek warstwą zaprawy z gipsu dentystycznego.

Podano wyniki badań wpływu prędkości obciążania próbek betonowych na ich wytrzymałość, określając przy tym orientacyjne współczynniki przeliczeniowe. Przeprowadzono analizę statystyczną wyników, otrzymanych z badań wytrzymałości na ściskanie 54 próbek 9 serii wyprodukowanych w różnych terminach.

Artykuł niniejszy jest sprawozdaniem z pierwszej części przeprowadzanych badań betonów lekkich z kruszywem "Knurów".

## 1. Wstęp

W postulatach perspektywicznego planu rozwoju gospodarczego PRL dotyczących budownictwa przejawia się dążenie do szybkiego uprzemysłowienia produkcji budowlanej przy szerokim zastosowaniu nowych, bardziej ekonomicznych tworzyw budowlanych. Jako jedno z nich wystąpi niewątpliwie beton lekki o wysokiej wytrzymałości oparty na kruszywie "Knurów" ze spiekanych łupków przywęglowych. Po opanowaniu technologii tego betonu zaistniała pilna potrzeba określenia jego cech. Potrzebę tę mają zaspokoić m.in. badania prowadzone przez Katedrę Budowli Komunalnych Politechniki Śląskiej.

## 2. Wykonanie betonu lekkiego marki 300

### 2.1. Opis zastosowanych materiałów

#### 2.1.1. Kruszywo "Knurów" ze spiekanych łupków przywęglowych

Produkowane w trzech frakcjach 0/4, 4/10 i 10/20 mm kruszywo pobrano do badań w czerwcu 1963 roku, w większych partiach (po ok. 3 m<sup>3</sup> każdej frakcji). Przechowywane ono było w zasobnikach drewnianych z zabezpieczeniem od wpływów atmosferycznych. Kruszywo posiada barwę szarą z widocznym odcieniem rdzawym i ozerwonym.

Ciężar nasypowy w stanie luźnym określony jako średnia arytmetyczna z 6 pomiarów ciężaru kruszywa luźno wsypywanego do naczynia 9-litrowego przedstawiał się dla poszczególnych frakcji handlowych następująco:

frakcja 0/4  $C_n = 0,851$  kg/l,

frakcja 4/10  $C_n = 0,714$  kg/l,

frakcja 10/20  $C_n = 0,581$  kg/l.

Wilgotność wagowa kruszywa po półrocznym przechowywaniu go w prawie ustalonych warunkach klimatycznych (temperatura powietrza +18°C, wilgotność względna powietrza 50%) wynosiła

dla frakcji 0/4 - od 0,6% do 1,64%,

dla frakcji 4/10 - od 0,4% do 1,52%,

dla frakcji 10/20 - od 0,4% do 1,40%.

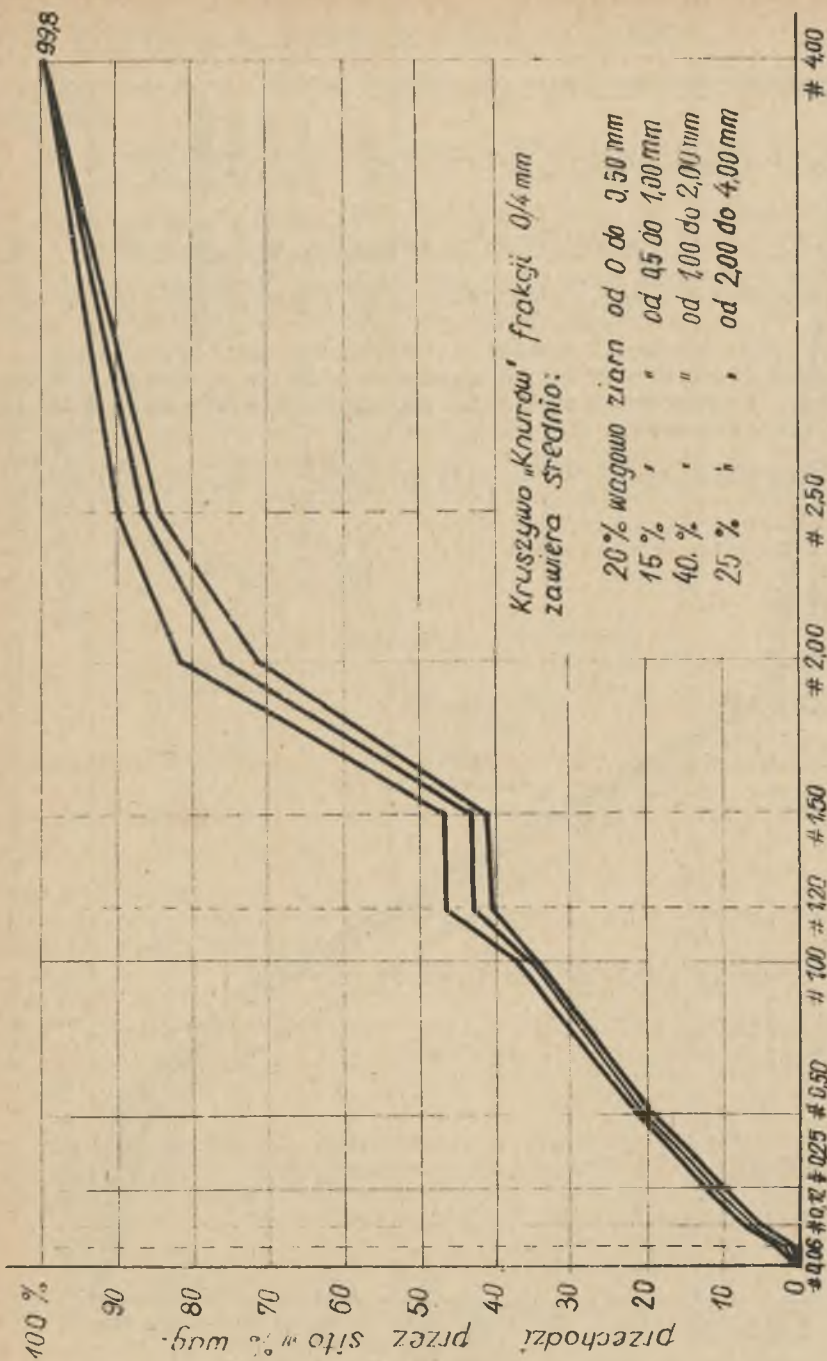
Do produkcji betonu marki 300 zastosowano frakcje 0/4 i 4/10. Wyniki analiz sitowych tych frakcji obrazują rys. 1 i 2.

#### 2.1.2. Cement

Użyty cement portlandzki "350" Grodziec przechowywany był w szczelnych beczkach blaszanych i odpowiadał wymogom normowym.

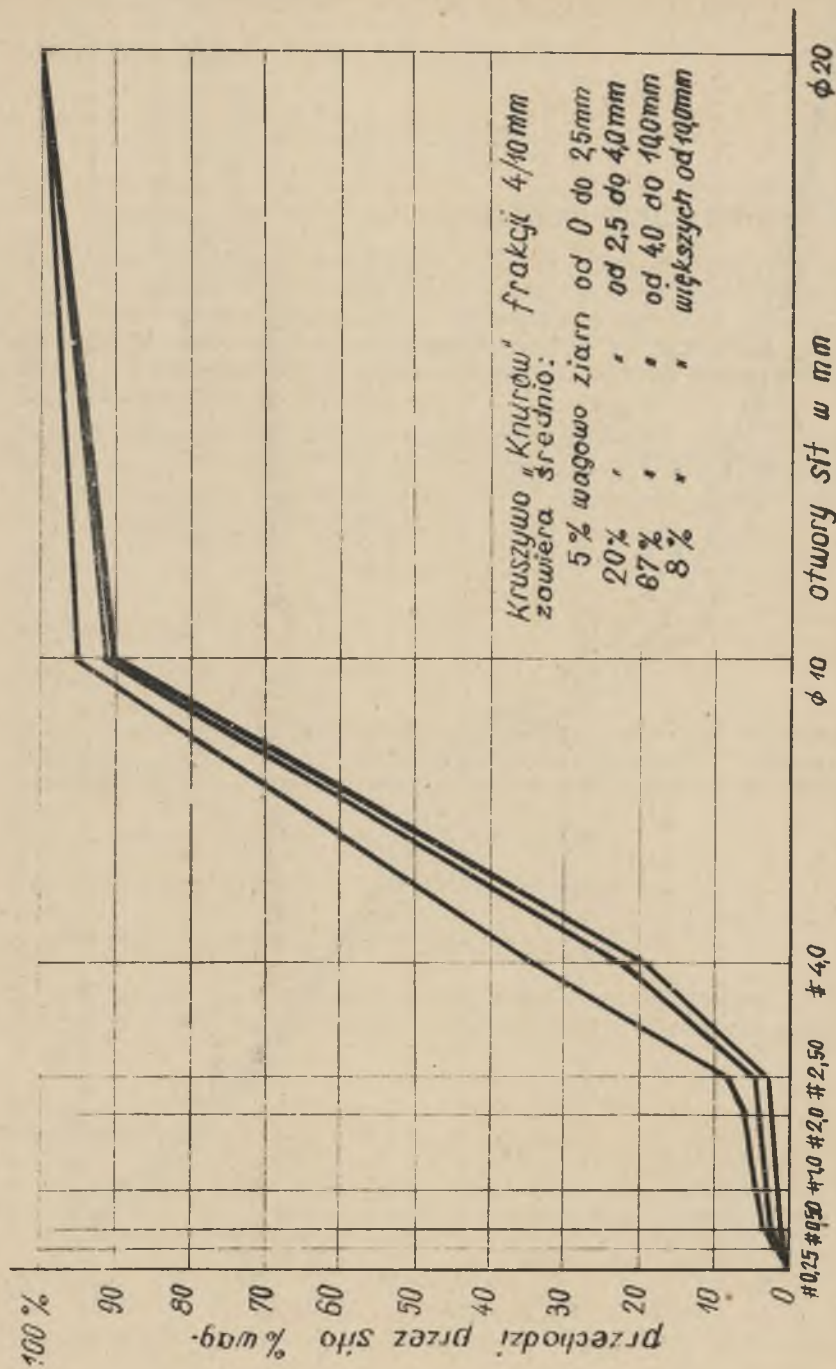
#### 2.1.3. Woda

Stosowana woda pitna odpowiadała stawianym jej warunkom.



Rys. 1. Krzywe uziarnienia kruszywa "Knurow" frakcji 0/4 mm





Rys. 2. Krzywe uziarnienia kruszywa "Knurów" frakcji 4/10 mm

## 2.2. Wykonanie mieszanek i próbek betonowych

Oprócz założenia marki betonu  $R_w = 300 \text{ kg/cm}^2$  postawiono wymagania:

- ilość cementu nie powinna przekraczać  $450 \text{ kg/m}^3$  masy betonowej,
- ciężar objętościowy betonu w stanie powietrzno-suchym powinien być mniejszy od  $1800 \text{ kg/m}^3$ ,
- świeża masa betonowa powinna mieć dobrą urabialność a stwardniały beton dużą jednorodność.

Jako wyjściową przyjęto mieszankę  $C_7$  kruszywa, cementu i wody o składzie zaproponowanym przez mgr inż. M. Robakowskiego z Katedry Budownictwa Ogólnego Politechniki Śląskiej. Mieszanka ta została po pewnej ilości próbnych zarobów zmodyfikowana, oznaczona przez  $C'_7$  i zastosowana do wykonywania próbek betonowych. Skład mieszanki  $C'_7$  przedstawiono w tablicy 1.

Tablica 1

Skład mieszanki betonowej  $C'_7$ 

Składniki betonu		Procentowy stosunek frakcji kruszywa	Ilość składników na $1 \text{ m}^3$ betonu	
			l	kg
kruszywo	frakcja 0/4	1,00	740	630,0
"Knurów"	frakcja 4/10	0,75	661	471,6
Cement "350" Grodziec			333	400,0
Woda			290	290,0
Razem:			2024	1791,6

Odważone ilości kruszywa dla zarobu o objętości roboczej przeważnie 70 l wsypywano do bębna betoniarki współbieżnej o pojemności nominalnej 125 l<sup>x</sup>). Po jednorazowym, ręcznym prze-

x) Po użyciu w badaniach wstępnych betoniarki wolnospadowej uznano ją za nieodpowiednią, ponieważ otrzymany beton nie był należycie wymieszany. Od chwili rozpoczęcia zasadniczych badań stosowano betoniarkę współbieżną.

rzuceniu kruszywa uruchamiano betoniarke mieszając kruszywo z połową ilości wody przez 1,5 minuty, po czym w ciągu dalszej 0,5 minuty mieszania desypywano cement i dolowano resztę wody. Wszystkie składniki mieszano jeszcze 2 minuty. Łączny czas mieszania wynosił około 4 minuty.

Kontrola świeżej masy betonowej polegała na sprawdzaniu jej ciężaru objętościowego i określeniu konsystencji aparatem Ve-Be. Ciężar objętościowy świeżego betonu, średni z 3 próbek  $h = \phi = 16$  cm wynosił od 1,770 kG/l do 1,800 kG/l. Beton posiadał konsystencję gęstoplastyczną, określoną czasem wibrowania w aparacie Ve-Be od 18 do 25 sekund i stopniem konsystencji  $H = 22$ .

Próbki wykonano w normowych formach o  $h = \phi = 16$  cm, smarowanych cienko mieszaniną towotu z olejem maszynowym. Formę wypełniano zgodnie z normą, w 3 warstwach, zagęszczając każdą z nich 25 uderzeniami pręta stalowego o średnicy 16 mm.

Tak przygotowane próbki wibrowano po 4 sztuki na wycechowanym do tego celu stole wibracyjnym. Proces wibracji charakteryzował się następującymi wielkościami: amplituda wymuszonych drgań  $a = 0,373$  mm częstotliwość  $f = 51,5$  Hz, czas wibracji 30 sekund. Po zawibrowaniu do pojawienia się na górnej powierzchni próbki mleczka cementowego, nadmiar betonu ścinano wyrównując powierzchnię próbki uderzeniami kielni i wygładzając nożem. Uformowane próbki pozostawiano w wilgotnym pomieszczeniu do następnego dnia. Po wyjęciu z form ustawiano je na regałach, okrywano mokrymi szmatami i przechowywano przez 7 dni w temperaturze ok. 18°C codziennie polewając wodą. W okresie od 7 dni do czasu badania, próbki przechowywane były w pomieszczeniach laboratoryjnych, bez dodatkowych zabiegów pielęgnacyjnych.

### 3. Badanie i określenie wytrzymałości betonu na ściskanie

#### 3.1. Technika badania

Na określenie marki betonu, jako wielkości naprężania niszczonego przy ściskaniu betonowej próbki walcowej o średnicy i wysokości 16 cm po 28 dniach twardnienia, oprócz kształtu i wieku próbki mają wpływ i inne czynniki, które narzucają nam do spełnienia następujące warunki:

- a) płaszczyzny czołowe próbki powinny być równoległe,
- b) tłok i płyta oporowa prasy dociskając do płaszczyzn czołowych próbki powinny zbliżyć się do siebie równoległe i jednostajnie gwarantując symetryczne, równomiernie rozłożone i jednostajne obciążenie próbki,
- c) nierówności powierzchni czołowych próbek powinny być wyrównane w celu wyeliminowania wpływu koncentracji na-



prężen w pobliżu wystających ziarn działających podczas obciążenia jak kliny,

- d) tarcie między czołami próbki a powierzchniami dociskającymi powinno być zmniejszone do minimum w celu zapewnienia możliwości swobodnego poprzecznego odkształcania się próbki,
- e) powinna być ustalona jedna optymalna szybkość obciążenia próbki.

Wiadomo, że zniszczenie próbki betonowej przy sile ściskającej działającej osiowo, wynika nie z powodu zmiażdżenia materiału lecz z powodu wyczerpania wytrzymałości na rozciąganie w kierunku prostopadłym do linii działania siły [1]. Potwierdzeniem tego są powstające na powierzchni bocznej próbki podłużne rysy (rys. 3a i 3b).

Pozorny brak zgodności między określeniem "wytrzymałość na ściskanie" a istotną przyczyną zniszczenia próbki jest zrozumiała, gdyż zniszczenie takie powstaje jako wynik działania sił ściskających.

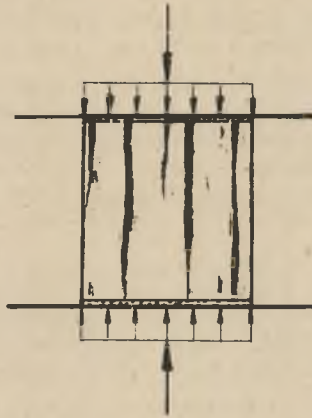
Obraz zniszczenia przedstawiony na rysunkach 3a i 3b powstaje przy obciążeniu równomiernie rozłożonym na całym przekroju próbki (warunki a, b i c) i zredukowaniu tarcia między płytami dociskowymi prasy i płaszczyznami czołowymi próbki (warunek d).

W czasie przeprowadzonych badań wytrzymałości betonu na ściskanie, wielokrotnie zauważono, że nie wystarcza samo ustawienie próbki w osi prasy wyznaczonej na dolnej płycie dociskowej współśrodkowymi pierścieniami ustawczymi. Niecentryczne przyłożenie siły i nierównomierne ściskanie próbki jest trudniejsze do zauważenia w przypadku stosowania przekładek z płyt pilśniowych niż w przypadku wyrównywania czoł próbki gipsem. Niedokładność w przyłożeniu siły do próbki może spowodować obniżenie badanej wytrzymałości  $\sigma$  około 20-25% tej wytrzymałości, jaką osiągnęłaby próbka obciążana w sposób prawidłowy.

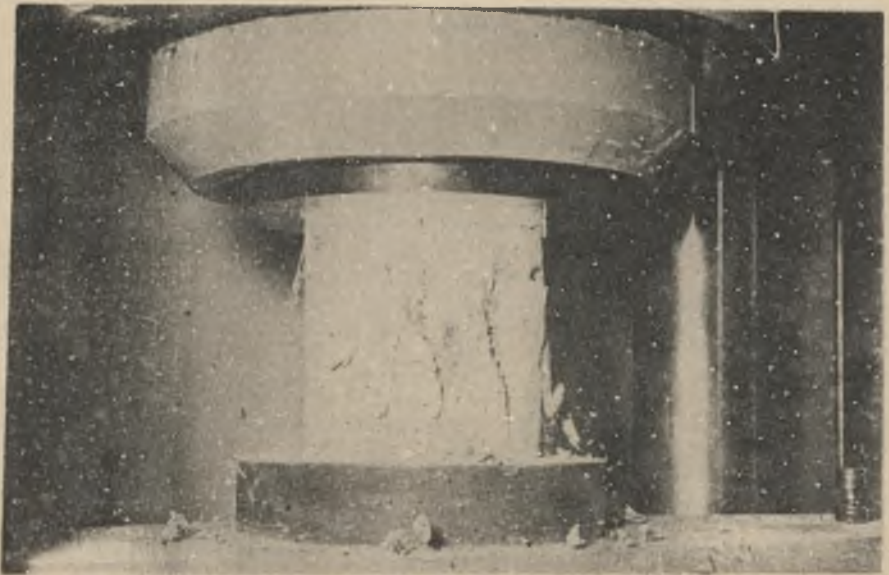
Jeśli swoboda odkształcania się próbki zostanie ograniczona np. większym tarcie między powierzchniami dociskowymi prasy a powierzchniami czołowymi próbek, jak to ma miejsce np. przy stosowaniu przekładek z płyt pilśniowych, obraz zniszczenia przedstawiać się będzie jak na rys. 4a i 4b.

Uzyskane w ten sposób wyniki trudniej jest z pewnością porównywać ze sobą a wyciągane z nich wnioski mogą być zakłócone przez wpływy trudne do uchwycenia (np. różna jakość i różny stopień zużycia przekładki).

W celu spełnienia opisanych warunków, powierzchnie czołowe próbek wyrównywano na dzień przed badaniem warstwą zaprawy z gipsu dentystycznego. Wyrównywanie czoł próbek warstwą

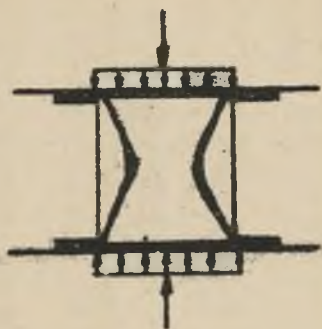


Rys. 3a. Szkic prawidłowego obrazu zniszczenia próbki ściskanej z wyrównanymi czołami zaprawą gipsową

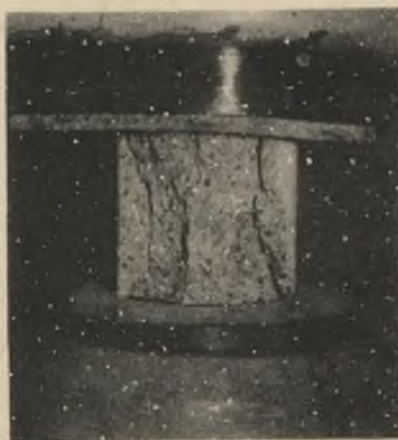


Rys. 3b. Obraz zniszczenia ściskanej próbki z wyrównanymi czołami zaprawą gipsową





Rys. 4a. Szkic obrazu zniszczenia próbki ściskanej z zastosowaniem przekładek z płyty pilśniowej



Rys. 4b. Obraz zniszczenia próbki ściskanej z zastosowaniem przekładek z płyty pilśniowej



Rys. 5

zaprawy o grubości 2 do 3 mm wykonywano na płycie szklanej przy pomocy prostego przyrządu ustawiającego próbkę prostopadłe do płyty (rys. 5).

Wyrównane w ten sposób powierzchnie były gładkie i wystarczająco równoległe, pozwalały usunąć przyczyny miejscowych koncentracji naprężeń, zapewniały dla wszystkich próbek jednakowe zmniejszone tarcie między powierzchniami czołowymi próbek i powierzchniami dociskowymi prasy.

Rola wyrównywania czoł próbek warstwą zaprawy z gipsu dentystycznego przy badaniu i określaniu wytrzymałości na ściskanie oraz jednorodności betonu może uwidocznić się wyraźnie nawet w przypadku niewielkiej serii elementów próbnych.

Można tu przytoczyć pewien przykład. Jedną z wykonanych serii 22 sztuk próbek  $\phi = h = 16$  cm, w przeddzień badania podzielono losowo na trzy grupy bardzo do siebie podobne o ciężarach objętościowych prawie równych. W grupie I (8 szt.) próbki ścismano z zastosowaniem przekładek (płyty pilśniowe miękkie, sprasowane), uzyskując przy największym rozrzucie wyników  $R_w = 230$  kg/cm<sup>2</sup>. Próbki z grupy II (7 szt.) ścismano bez żadnych przygotowań i uzyskano  $R_w = 239$  kg/cm<sup>2</sup>. Próbki z grupy III (7 szt.) ścismano po wyrównaniu ich czoł warstwą zaprawy z gipsu dentystycznego, uzyskując wyniki najbardziej zbliżone do  $R_w = 286$  kg/cm<sup>2</sup>.

W świetle przeprowadzonych doświadczeń, wyrównanie czoł próbek warstwą zaprawy z gipsu dentystycznego należy uznać za bardzo celowe, ponieważ tak prosty zabieg pozwala utrzymać bardziej jednakowe i prawidłowe warunki badania, co w konsekwencji daje mniejsze rozrzuty uzyskiwanych wyników.

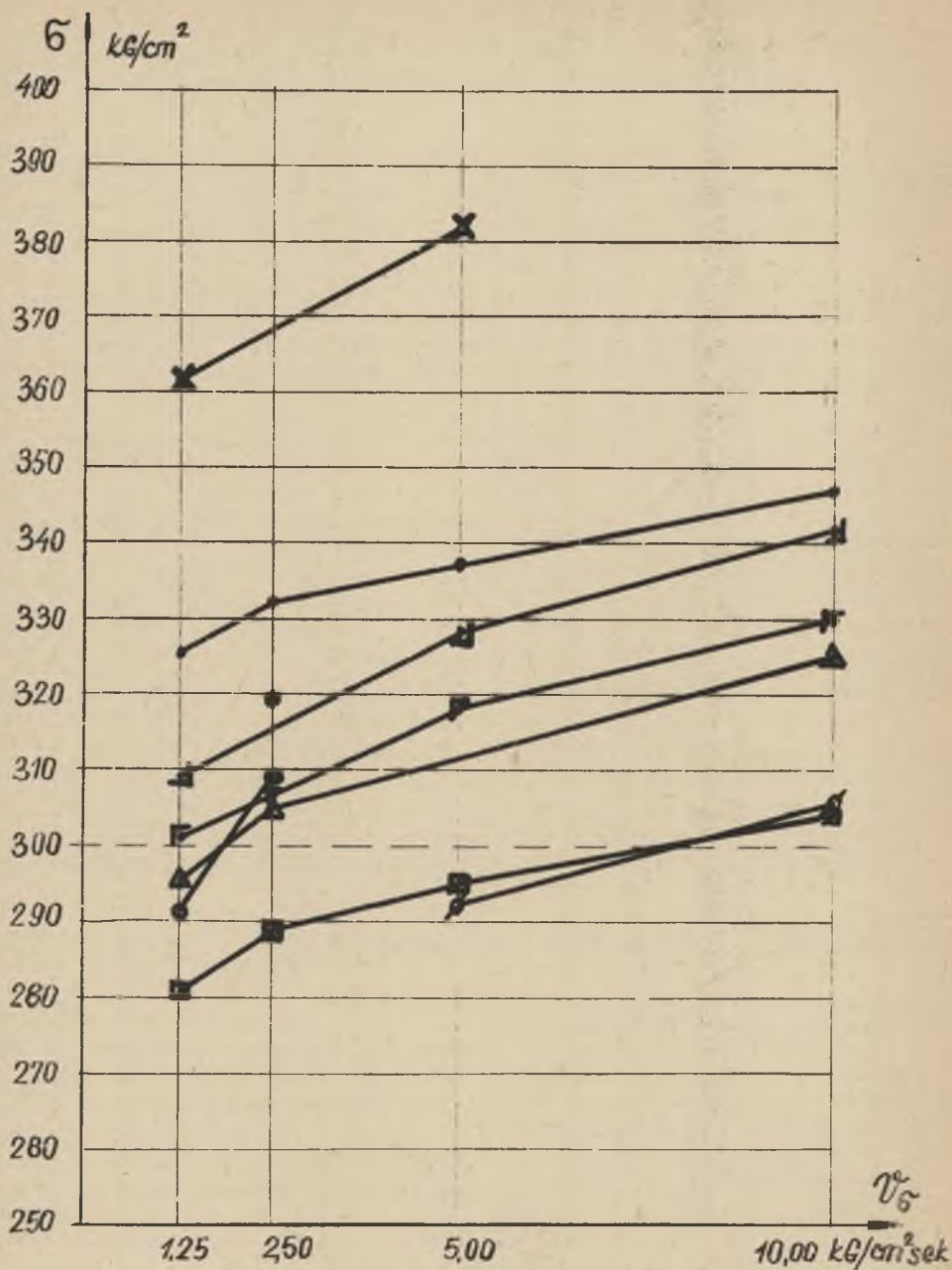
### 3.2. Wpływ prędkości obciążania próbki na jej wytrzymałość przy ścisaniu

W celu ustalenia jak wielki jest wpływ prędkości obciążania na wytrzymałość betonu wykonano z mieszanek C<sub>7</sub> (tablica 1) 185 sztuk walców betonowych  $\phi = h = 16$  cm, które ścismano równomiernie aż do wystąpienia naprężeń niszczących stosując cztery prędkości obciążania dla czterech grup wybranych losowo próbek. Badania przeprowadzono w Zakładzie Badań i Doświadczeń Śląskiego Zjednoczenia Budownictwa Przemysłowego w Katowicach korzystając z prasy trójzakresowej Schopera (100 ton, 40 ton i 10 ton) - produkcji NRD.

W grupie A - 45 sztuk próbek ścismano z prędkością około 1,25 kg/cm<sup>2</sup>.sek. Czas obciążania próbek od chwili ich zniszczenia wynosił średnio od 4 do 5 minut.







Rys. 6. Wpływ prędkości obciążania próbek na wytrzymałość betonu przy ścisnaniu

W grupie B - 40 sztuk próbek sciskano z prędkością około  $2,50 \text{ kg/cm}^2 \cdot \text{sek}$ . Czas obciążania tych próbek aż do zniszczenia wynosił od 2 do  $2 \frac{1}{2}$  minuty. Jest to powszechnie zalecana prędkość obciążania.

W grupie C - 40 sztuk próbek sciskano z prędkością  $5 \text{ kg/cm}^2 \cdot \text{sek}$ . Czas obciążania ich aż do zniszczenia, wynosił przeważnie 1 minutę. Taka prędkość obciążania badanych próbek jest bardzo często stosowana.

W grupie D - sciskano 40<sub>2</sub> sztuk próbek przykładając obciążenie z prędkością  $10 \text{ kg/cm}^2 \cdot \text{sek}$ . Czas obciążania tych próbek do chwili zniszczenia wynosił od 30 do 33 sekund.

Wyniki z opisanych wyżej badań przedstawiono w tabelicy 2 i na rys. 6 oznaczając jednym punktem średnią wytrzymałość 7 próbek.

Na podstawie przeprowadzonych doświadczeń można stwierdzić że:

- a) zalecana przez normę PN-55/B-06250 "Beton zwykły" prędkość obciążania próbki jest właściwa - leży bowiem w obszarze dogodnych warunków badania i małego wpływu prędkości obciążania na określoną wytrzymałość,
- b) większa prędkość obciążania próbki powoduje podwyższenie określonej wytrzymałości betonu na ściskanie,
- c) wpływ szybkości obciążania próbki na określenie marki betonu chociaż wyraźny jest jednak niewielki - nie przekracza w skrajnych praktycznie przypadkach 10%  $R_w$ .

### 3.3. Opracowanie statystyczne wyników badań wytrzymałości na ściskanie betonu lekkiego marki "300" $\text{kg/cm}^2$

Opracowanie dotyczy 63 próbek walcowych  $\phi = h = 16 \text{ cm}$  wykonanych z mieszanek betonowych  $C_7$ . Wykonanie mieszanek i próbek opisano w punkcie 2.2. Próbkę wykonano w dziewięciu różnych terminach od lutego do czerwca 1964 r. Ściskanie próbek przeprowadzono po spełnieniu warunków opisanych w punkcie 3.1 przy jednej ustalonej prędkości obciążania  $v_0 = 2,5 \text{ kg/cm}^2 \cdot \text{sek}$ . Badania wytrzymałości na ściskanie interesującego nas betonu przeprowadzono za pomocą prasy opisanej w p. 3.2.

Opracowanie statystyczne uzyskanych wyników pokazano w tabelicy 3. Poddany badaniom beton należy uznać za bardzo dobry i jednorodny.

Tablica 3

Opracowanie statystyczne wyników badań wytrzymałości  
na ściskanie betonu lekkiego marki "300"  $\text{kg/cm}^2$

Wymiar $x_1$ (wytrzymałość na ściskanie w $\text{kg/cm}^2$ )	Liczba pomiarów $n_1$	$n_1 \cdot x_1$	$x_1 - \bar{x}$	$(x_1 - \bar{x})^2$	$(x_1 - \bar{x})^2 \cdot n_1$	Uwagi
270	4	1080	-40	1600	6400	
275	3	825	-35	1225	3675	
280	3	840	-30	900	2700	
285	0	0	-25	625	0	
270	2	580	-20	400	800	
295	3	885	-15	225	675	
300	0	0	-10	100	0	
305	6	1830	-5	25	150	
310	8	2480	0	0	0	
315	3	945	+5	25	75	
320	6	1920	+10	100	600	
325	4	1300	+15	225	900	
330	5	1650	+20	400	2000	
335	0	0	+25	625	0	
340	2	680	+30	900	1800	
345	1	345	+35	1225	1225	
350	1	350	+40	1600	1600	
355	3	1665	+45	2025	6075	
360	0	0	+50	2500	0	
$\Sigma$	54	16775		14725	28675	
Wytrzymałość średnia $\bar{x} = \frac{\Sigma x_1 \cdot n_1}{\Sigma n_1} =$ $= \frac{16775}{54} =$ $= 310 \text{ kg/cm}^2$	Odchylenie standardowe $s = \sqrt{\frac{\Sigma (x_1 - \bar{x})^2 \cdot n_1}{\Sigma n_1}} = \sqrt{\frac{28675}{54}} = 23 \text{ kg/cm}^2$					
wskaznik zmienności określający jakość wykonania betonu	$z = \frac{s}{\bar{x}} \cdot 100\% = \frac{23}{310} \cdot 100 = 7,43\%$					



#### 4. Wnioski

1. Przy badaniu wytrzymałości betonu na ściskanie korzystne jest wyrównywanie powierzchni dociskowych próbek warstwą zaprawy gipsowej grubości 2 do 3 mm. Normowe zalecenie stosowania przekładek z płyt pilśniowych przy badaniu wytrzymałości betonu na ściskanie nie gwarantuje prawidłowości i niezmienności procesu obciążania, zwiększa rozrzut wyników i utrudnia ich porównywanie.
2. Prędkość obciążania zalecana przez normę jest trafna i powinna być przestrzegana przy badaniu wytrzymałości betonu.

#### LITERATURA

- [1] L'HERMITE ROBERT: Idées actuelles sur la technologie du beton. Documentation Technique du Batiment et des Travaux Publics. Paryż 1955.

РОЛЬ ТЕХНИКИ ИСПЫТАНИЯ В ОПРЕДЕЛЕНИИ ПРОЧНОСТИ НА СЖАТИЕ ЛЕГКОГО БЕТОНА С ЗАПОЛНИТЕЛЕМ "КНУРУВ"

#### С о д е р ж а н и е

Сперва представлено связное описание материалов применяемых в лабораторном производстве легкого бетона марки "300" а вместе с тем разобрано способы совершення смесей и образцов.

Обсуждено метод испытания прочности на сжатие подчеркивая влияние положения центра давления, а также выравнивания фасадов образцов прослойкой из зубообразного гипса. Представлено по таблицам и диаграммам результаты исследований влияния скорости загрузки на прочность бетонных образцов, прилагая ориентировочные пересчётные коэффициенты.

После статистического анализа результатов испытания прочности на сжатие 63 образцов изготовленных в разном сроке, определено среднюю прочность, соответствующее её квадратное отклонение и указатель изменчивости изготовления высказывая утверждение об однородности бетона.

Эта статья является отчётом по первой састи испытаний лёгких бетонов на заповнигеле "Кнурув" проведенных в Кафедре Городских Сооружений Силезского Политехнического Института.

TEST TECHNIQUE IN COMPRESSIVE STRENGTH DETERMINATION  
OF LIGHTWEIGHT "KNURÓW" AGGREGATE-CONCRETE

S u m m a r y

The first part of the paper contains a concise description of materials used for laboratory<sub>2</sub> production of lightweight-aggregate concrete of 300 kg/cm<sup>2</sup> quality and the fashion of performance mixes and samples.

The author discusses a testing manner of concrete's compressive strength, the need of axial loading of a sample and the effect of evening it's frontal surfaces with a layer of dentistic plaster (gypsum).

The connection of the testing results of samples with loading speed has been presented graphically and in tables including same approximate converting factors.

Statistical analysis of the compressive strength testing results of 63 samples made in different terms has given a homogeneity's picture of the concrete.

This paper is a report on the first part of lightweight "Knurów" aggregate - concrete testings, which are executed in the Chair of the Communal Building of the Silesian Polytechnic School.