GÓRNICTWO z. 10

P 3352/64

MIROSŁAW CHUDEK

STUDIA NAD WYTRZYMAŁOŚCIĄ MURÓW Z PREFABRYKATÓW STOSOWANYCH W BUDOWNICTWIE PODZIEMNYM KOPALŃ

20-LECIE
POLITECHNIKI
ŚLĄSKIEJ

POLITECHNIKA ŚLĄSKA
ZESZYT NAUKOWY Nr 109 – GLIWICE 1964

SPIS TREŚCI

PRZEDMOWA 3

1. CZĘŚĆ OGÓLNA

1. 1. Wstęp 5

1. 2. Ważniejsze oznaczenia stosowane w pracy 6

1. 3. Stosowanie prefabrykatów (cegieł, betonitów) i zapraw w konstrukcjach podziemnych — w polskim przemyśle górniczym 6

1. 3. 1. Rodzaje cegieł i betonitów używane na obudowę murową wyrobisk górniczych 6

1. 3. 2. Zaprawy 11

1. 3. 3. Marki zapraw dotychczas stosowane w budownictwie podziemnym kopalń 15

1. 3. 4. Stosowanie obudowy ceglanej i betonitowej w budownictwie górniczym — w świetle praktyki kopalnianej 17

1. 3. 5. Sposoby obliczania grubości obudów i przyjmowane wytrzymałości murów wykonywanych w budownictwie górniczym 23

2. CZĘŚĆ SZCZEGÓŁOWA

2. 1. Badania nad podniesieniem wytrzymałości obudowy ceglanej i betonitowej stosowanej w wyrobiskach górniczych 28

2. 1. 1. Metodyka i zakres badań 28

2. 1. 2. Badania nad ustaleniem zapraw wyższych marek 32

2. 2. Badania wytrzymałościowe cegieł i betonitów, z których do badań wykonano mury (konstrukcje murowe) na nowych zaprawach 49

2. 3. Badania wytrzymałościowe murów ceglanych i betonitowych wykonanych na nowych zaprawach 51

2. 4. Analiza matematyczna wyników uzyskanych z badań . 76

2. 4. 1. Analiza wyników badań murów z cegły pojedynczej (rys. 15a) 76

2. 4. 2. Analiza wyników badań murów z cegły pojedynczej (rys. 15b) 86

2. 4. 3. Analiza wyników badań murów z cegły pojedynczej (rys. 15c) 93

2. 4. 4. Analiza wyników badań murów z cegły pojedynczej (rys. 15d) 99

2. 4. 5. Analiza wyników badań murów z cegły pojedynczej (rys. 15e) 106

2. 4. 6. Analiza wyników badań murów z cegły pojedynczej (rys. 15f) 113

2. 4. 7. Analiza wyników badań murów z cegły podwójnej (szybowej) 119

2. 4. 8. Analiza wyników badań murów z betonitów . . 134

2. 5. Porównanie wytrzymałości murów zbadanych z wytrzymałościami dotychczas przyjmowanymi dla murów wykonywanych na zaprawie cementowej marki 80 137

2. 6. Korzyści ekonomiczne dla przemysłu górniczego wynikające z podniesienia wytrzymałości murów obudowy ceglanej i betonitowej 142

3. WNIOSKI 143

4. LITERATURA 146

5. STRESZCZENIA OBCOJĘZYCZNE 152

POLITECHNIKA ŚLĄSKA

ZESZYTY NAUKOWE

Nr 109

P. 3352/64

MIROSŁAW CHUDEK

STUDIA NAD WYTRZYMAŁOŚCIĄ MURÓW Z PREFABRYKATÓW STOSOWANYCH W BUDOWNICTWIE PODZIEMNYM KOPALŃ

PRACA HABILITACYJNA Nr 37

Data otwarcia przewodu habilitacyjnego 9. III. 1964 r.

GLIWICE 1964

REDAKTOR NACZELNY ZESZYTÓW NAUKOWYCH
POLITECHNIKI ŚLĄSKIEJ

Fryderyk Staub

REDAKTOR DZIAŁU

Jerzy Antoniak

SEKRETARZ REDAKCJI

Tadeusz Matula

Dział Nauki — Sekcja Wydawnictw Naukowych — Politechniki Śląskiej
Gliwice, ul. Konarskiego 23

Nakł. 210+45 Ark. wyd. 7 Ark. druk. 9,14 Papier powielaczowy kl. V, 70x100, 70 g
Oddano do druku 29. 4. 1964 Podpis. do druku 8. 6. 1964 Druk ukończ. w czerwcu 1964
Zamówienie nr 788 7. 5. 1964 B-18 Cena zł 8,75

Wykonano w Zakładzie Graficznym Politechniki Śląskiej w Gliwicach

PRZEDMOWA

Wytrzymałość obudowy murowej z prefabrykatów wykonywanej w wyrobiskach górniczych przy zmieniającej się budowie geologicznej górotworu była przedmiotem już wielu prac. Większość dotychczasowych prac teoretycznych i badawczych uzależnia grubość obudowy od budowy górotworu, wytrzymałości składników obudowy - przy zachowaniu stosowanej powszechnie w budownictwie naziemnym i podziemnym zaprawy marki 80.

W Katedrze Budownictwa Podziemnego Kopalń Politechniki Śląskiej przeprowadza się od szeregu lat prace naukowo-badawcze dla Kopalń Przemysłu Węglowego i Przedsiębiorstwa Budowy Szybów w Bytomiu. Celem tych prac badawczych jest ustalenie przyczyn wywołujących deformację obudowy wyrobisk górniczych, a także ustalenie właściwego sposobu projektowania grubości obudowy tych wyrobisk. Wykonywane prace obejmowały analizę stanu faktycznego i badania wytrzymałościowe pobranych prób z obudowy.

W czasie prowadzenia licznych i długotrwałych obserwacji obudów w kopalniach, a także podczas badań laboratoryjnych doszedłem do wniosku, że niesłusznie stosuje się szczególnie w obudowie z cegły klinkierowej, półklinkierowej i z betonitów zaprawy marki 80.

Skłoniło mnie to do przeprowadzenia celowo zaplanowanych badań nad wytrzymałością murów z prefabrykatów wykonanych na zaprawach zbliżonych swą wytrzymałością do wytrzymałości prefabrykatów. Zastosowanie w obudowie z prefabrykatów zaprojektowanych zapraw okazało się bardzo korzystne, wpływające na podniesienie wytrzymałości obudowy murowej - prowadzące do oszczędności na wykonawstwie wyrobisk górniczych, niezbędnych dla eksploatacji kopaliny użytecznej.

Pracę wykonałem w Katedrze Budownictwa Podziemnego Kopalń przy wydatnej pomocy naukowej i organizacyjnej Kierownika Katedry Docenta Jerzego R a b s z t y n a. Cennej pomocy konsultacyjnej w zakresie defermacji obudów obserwowanych w wyrobiskach górniczych, doboru właściwych warunków badań laboratoryjnych i ich kierunku udzielili autorowi: Profesor zwyczajny Antoni S a ł u s t o w i c z, - Kierownik Katedry

Mechaniki Górniczej AGH, członek PAN, Profesor zwyczajny Marcin B o r e c k i - Przewodniczący Komisji Obudowy MGiE; Dyrektor Głównego Instytutu Górnictwa, a w różnych pracach pomocniczych współdziałali pracownicy Katedry.

Dziękuję również Władzom Uczelni i Ministerstwu za udzielenie mi kredytów pieniężnych, dzięki którym mogłem przeprowadzić szerokie badania laboratoryjne.

Autor

I. CZĘŚĆ OGÓLNA

1.1. Wstęp

Udostępnienie jak i przygotowanie złoża do eksploatacji wiąże się z wykonywaniem takich wyrobisk jak: szyby, szybiki, upadowe kamienne i przecznice, przekopy, chodniki, rozwidlenia, odgałęzienia itd. W wyrobiskach tych zależnie od budowy geologicznej górotworu, lokalizacji i przeznaczenia oraz wymiarów wyrobiska, a także w celu utrzymania ich minimalnego przekroju poprzecznego - wykonuje się obudowę: murową (ceglaną, betonitową, betonową, żelbetową), metalową, mieszaną względnie drewnianą.

Wyrobiska górnicze wykonywane w warunkach górotworu dającego naciski statyczne przeważnie wykonuje się w obudowie murowej spośród której najwłaściwszą ze względu na wiązanie z górotworem jest obudowa betonowa. Zmechanizowany sposób wykonywania obudowy betonowej w wyrobiskach pionowych jak i korytarzowych jest celowy tak pod względem technologicznym jak i ekonomicznym. Jednak sposób ten oprócz kosztownego wyposażenia w sprzęt wymaga odpowiedniego placu budowy (na powierzchni ziemi w przypadku głębienia szybu pod ziemią w przypadku wykonywania wyrobiska korytarzowego).

Ponieważ nie zawsze istnieją warunki czyniące zadość powyższym czynnikom (np. szyb głębi się w mieście między zabudowaniami, wyrobisko jest nietypowe, wyrobisko korytarzowe wykonuje się o niewielkich wymiarach i o małej długości, szybik czy szyb posiada małą długość) dlatego często spotykamy się z wykonywaniem wyrobisk podziemnych w obudowie ceglanej lub betonitowej.

Praca niniejsza ma na celu przeanalizowanie słuszności stosowanej dotychczas w górnictwie obudowy murowej (ceglanej oraz betonitowej) jak również sposobu określania i przyjmowania wytrzymałości stosowanych murów, tudzież ustalenie nowego poglądu na projektowanie obudowy murowej z prefabrykatów (cegieł, betonitów).

1.2. Ważniejsze oznaczenia stosowane w pracy

Rz - marka zaprawy (wytrzymałość doraźna na ściskanie),

Rc_1 - wytrzymałość cementu na ściskanie,

Rc - wytrzymałość doraźna prefabrykatów (cegieł, betonitów) na ściskanie,

E - moduł Yunga,

μ - liczba Poissona,

m - odwrotność liczby Poissona,

Δl - zmniejszenie wysokości próbki, muru - w czasie badania,

Δd - przyrost objętości próbki w czasie badania,

ε - odkształcenia pionowe próbki, muru,

ε_p - odkształcenia poziome - poprzeczne,

$\sigma(\varepsilon)$ - zależność naprężeń od odkształceń,

Rm - wytrzymałość doraźna muru,

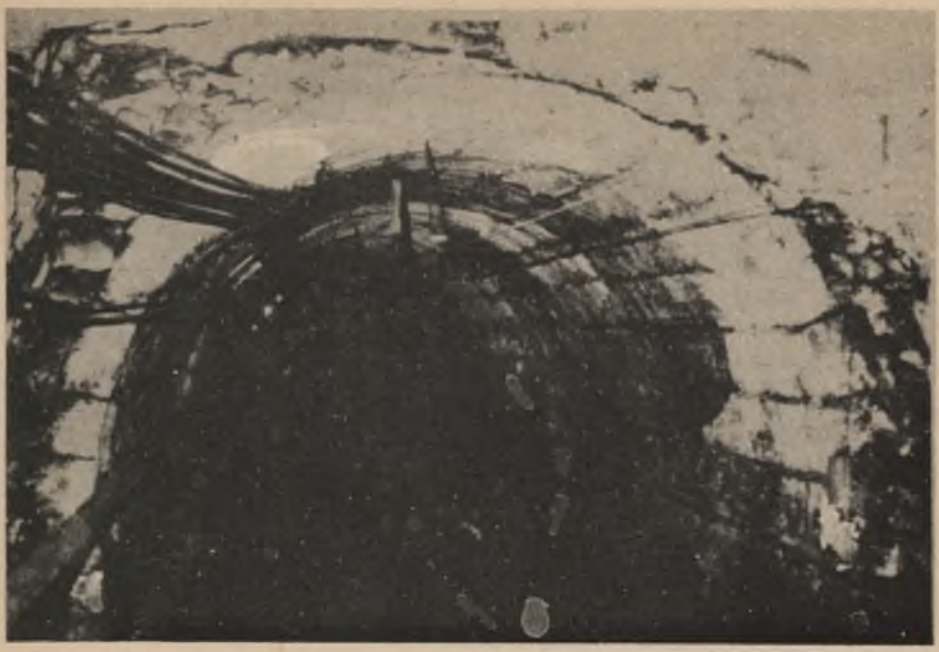
$R\hat{m}$ - wytrzymałość doraźna muru określona wzorem normowym.

1.3. Stosowanie prefabrykatów (cegieł, betonitów) i zapraw w konstrukcjach podziemnych - w polskim przemyśle górniczym

Konstrukcje murowe z prefabrykatów stosowane w górnictwie uzyskuje się przez odpowiednie ułożenie (cegieł, betonitów) na obwodzie wyrobiska przy jednoczesnym łączeniu ich zaprawą cementową (rys. 1, 2, 3, 4, 5). Składnikami obudowy murowej są więc cegły czy betonity i zaprawa, na którą składają się: cement, kruszywo i woda.

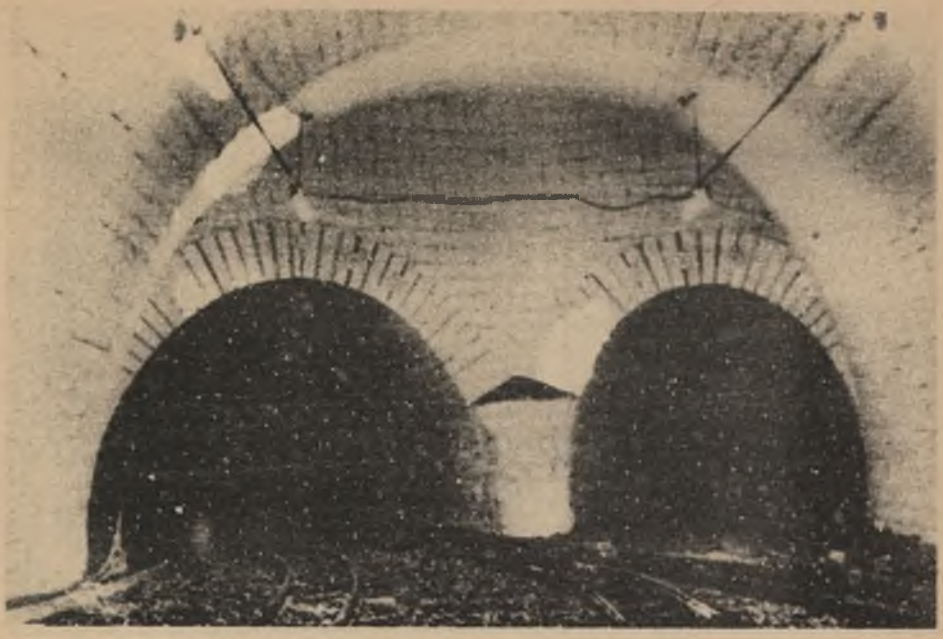
1.3.1. Rodzaje cegieł i betonitów używane na obudowę murową wyrobisk górniczych

Do obudowy murowej używa się cegły ostropalonej marki 150, półklinkierowej marki 250, klinkierowej marki 350 oraz beto-

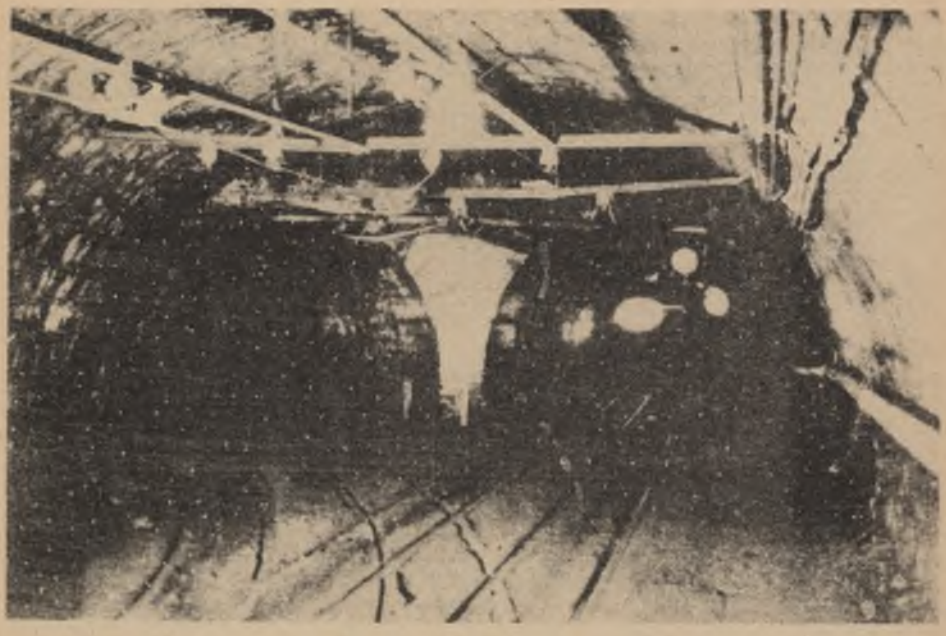


Rys. 1. Przekop w obudowie betonitowej

Rys. 2. Przecznica w obudowie ceglanej

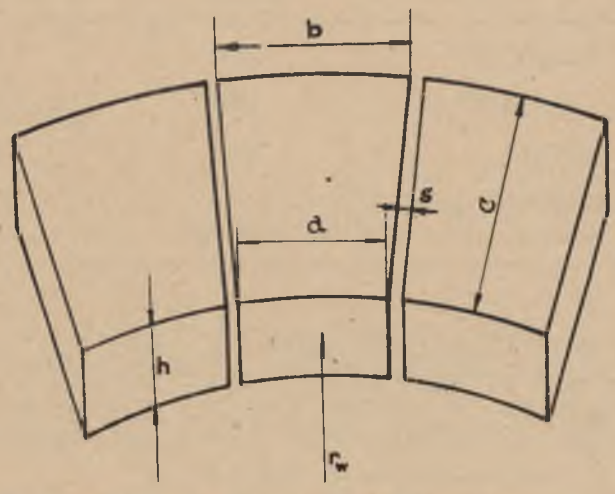


Rys. 3. Rozwidlenie przekopu w obudowie ceglanej



Rys. 4. Rozwidlenie przekopu w obudowie betonitowej

Rys. 5. Model kombinowanej obudowy wyrobiska pionowego, stosowanej często w szybach mrożeniowych



Rys. 6. Schemat układania betonitów w szybie

nitów, które najczęściej wykonuje się z betonu marki 250 na cemencie portlandzkim 250 lub z betonu marki 200 i 250 na cemencie portlandzkim marki 350 oraz cemencie hutniczym marki 250. Wymiary cegieł stosowane w budownictwie szybowym przedstawia tablica 1, natomiast ich własności wytrzymałościowe obrazuje tablica 2.

Tablica 1

Wymiary cegieł stosowanych w budownictwie podziemnym kopalń

Wym. cegły mm	Grubość obudowy liczona w cegłach					
	1 1/2	2	2 1/2	3	3 1/2	4
	liczona w cm					
250x120x65	38	51	64	77	90	103
250x120x130	38	51	64	77	90	103

Tablica 2

Własności wytrzymałościowe cegieł stosowanych w górnictwie

Klasa (marka)	Nazwa cegły	Wytrzymałość na ściskanie Rc kG/cm^2	Nasiąkliwość ciężarowa %
350	klinkier	350	6
250	półklinkier	250	12
150	pełna	150	6-12
180	szybowa (podwójna)	160-180	6-20

Betonity marek wyżej opisanych są wykonywane jako prostokątne (stosowane przeważnie na ścianki osiowe) i klinowe (rys. 6) stosowane na obudowę wyrobisk pionowych i łuków sklepieniowych. Charakterystykę stosowanych betonitów szybowych (rys. 6) przedstawiono w tablicy 3.

Tablica 3

Charakterystyka betonitów szybowych

Wyszczególnienie	BSZ-1			BSZ-2			BSZ-3			
	dla średnic szybów cm									
	300	350	375	400	450	500	550	600	670	720
Ciśnienie w T/m^2 przenoszone przez obudowę wykonaną z betonitów na zaprawie cementowej 1:3	23,2	19,5	18,2	23,3	21,9	18,9	17,3	20,4	18,4	17,2
Wymiary betonitów cm										
a	33,7			23,7			18,7			
b	33,7			26,7			20,7			
c	20,0			28,0			36,0			
h	14,0			14,0			14,0			
s	1,7			1,7			1,7			
r_w	175,0			240,0			320,0			
Ciężar betonitów	25 kg			25 kg			25 kg			

1.3.2. Zaprawy

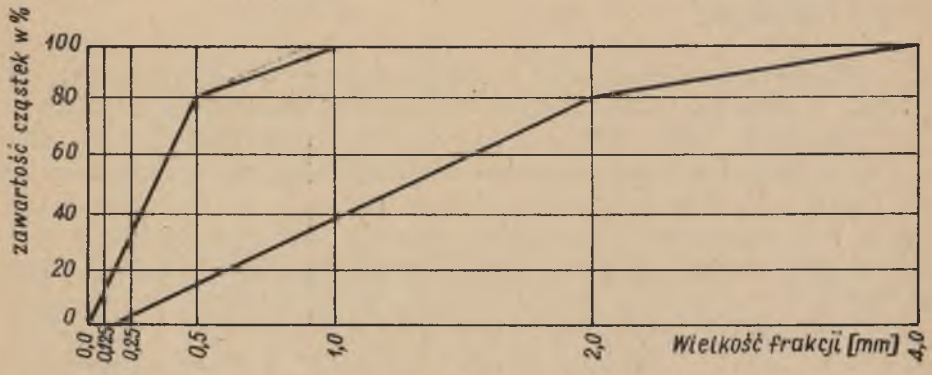
W budownictwie górniczym stosuje się wyłącznie zaprawy cementowe, w których jako spoiwo używa się cement portlandzki marki 250, 350, 400, 450 oraz cement hutniczy marki 250. Własności wytrzymałościowe cementów najczęściej stosowanych w budownictwie podziemnym kopalń podaje tablica 4. Kruszywo (naturalne lub sztuczne) do zapraw stanowi materiał sypki w postaci ziarn, które po wymieszaniu z upłynnionym spoiwem stanowi szkielet zaprawy. Kruszywo naturalne (prawie wyłącznie) używane do zapraw stanowią różnego rodzaju piaski z domieszkami pyłów, glin i żwiru. Na wytrzymałość zaprawy zasadniczy wpływ ma jakość i rodzaj kruszywa oraz jego uziarnienie. Za właściwe uważa się kruszywo w postaci piasku kwarcowego, które pod względem uziarnienia będzie przechodzić przez sito

Tablica 4

Własności cementów

Nazwa cementu	Norma	Własności wytrzymałościowe normalnej zaprawy cementowej w kG/cm^2					
		na zginanie			na ściskanie		
		w dniach					
		3	7	28	3	7	28
Portlandzki 250	PN/B-30000	-	30	50	-	130	250
Portlandzki 350	PN/B-30001	-	40	60	-	225	350
Portlandzki 400	PN/B-30002	35	45	65	180	280	400
Hutniczy	PN/B-30005	-	30	50	-	130	250

tkane o prześwicie 0,5 mm w ilości 30-70%, przez sito 1 mm 50-90% i przez sito 2 mm 100%. Zgodnie z wytycznymi PN/B-06711 uziarnienie piasku powinno znajdować się wewnątrz pasa ograniczonego krzywymi uziarnienia (rys. 7). Podział kruszywa pod względem uziarnienia podaje tablica 5.



Rys. 7. Wykres uziarnienia kruszywa

Podział kruszywa pod względem uziarnienia

Rodzaj kruszywa	Nazwa asortymentu kruszywa	Nazwa frakcji	Wymiary zmian m.m.	Wymiary sit wg PN/M-94008		
				nominalny nm	bok oczka kwadratow.	średnica oczka okrągłego
Kruszywo mineralne	pył	drobny	do 0,05	wymiary ziarn badamy metodą płukania		
	piasek	gruby	0,05-0,12	0,12	0,12	-
		b. drobny	0,12-0,25	0,25	0,25	-
		drobny	0,25-0,5	0,5	0,5	-
		średni	0,5 -1	1	1	-
		gruby	1-2	2	2	-
	żwirek	drobny	2-5	4	4	5
		gruby	5-10	8	8	10
Kruszywo naturalne	żwir	drobny	10-20	16	16	20
		średni	20-40	32	32	40
		gruby	40-60	48	48	60
		b. gruby	60-80	63	63	80
	otoczaki		80-120	-	-	-
Kruszywo powstałe przez jednorazowe rozdrobnienie skał	kruszyny	drobne	do 2	2	2	-
		grube	2-5	4	4	5
	kliniec	drobny a	5-10	8	8	10
		drobny b	5-8	6,3	6,3	8
		średni	8-16	12	12	16
		gruby a	10-20	16	16	20
		gruby b	16-25	20	20	25
	tłuczeń	drobny a	20-40	32	32	40
		drobny b	25-40	32	32	40
		średni	40-60	48	48	60
		gruby	60-80	63	63	80
		b. gruby	80-120	100	100	120
Kruszywa powstałe przez dwukrotne rozdrobnienie skał	pył	drobny a	do 0,05	-	-	-
		drobny b	do 0,075	0,06	0,06	-
	miał	gruby a	0,05-0,12	0,12	0,12	-
		gruby b	0,075-0,12	0,12	0,12	-
		drobny	0,12-0,25	0,25	0,25	-
		średni	0,25-0,5	0,5	0,5	-
		gruby	0,5 -1,0	1,0	1,0	-
		b. gruby	1,0 -2,0	2,0	2,0	-
	grysik	drobny	2,0 -3,2	2,25	2,5	3,2
		średni	3,2 -5,0	4	4	5
		gruby	5 -8	6,3	6,3	8
	grys	drobny	8-12	10	10	12
		średni	12-16	12	12	16
		gruby	16-20	16	16	20
		b. gruby	20-25	20	20	25

Trzecim ważnym składnikiem zapraw jest woda. Do zarobienia zapraw należy używać wody wolnej od domieszek, które ujemnie wpływają na wiązanie i twardnienie spoiwa jakim jest cement. W celu uzyskania żądanej zaprawy należy przestrzegać warunków przygotowania i proporcji składników zaprawy. Proporcje zaprawy stanowi stosunek ilości składników mieszanych objętościowo lub wagowo. O proporcji objętościowej mówimy wówczas, jeżeli na 1 jednostkę objętościową cementu przypada 3 takie jednostki piasku. Proporcja objętościowa nie określa jednak w sposób jednoznaczny ilości składników w jednostce objętościowej zaprawy wskutek tego, że ciężary objętościowe zarówno spoiwa jak i piasku są zmienne zależnie od sposobu nasypania, wilgotności, uziarnienia kruszywa i stopnia miałkości spoiwa.

Tablica 6

Ilość składników dla różnych stosunków objętościowych w 1 m^3 zaprawy

Stosunek objętośc. cement:piasek	Orientacyjne ilości w 1 m^3 zaprawy		
	cementu kg	piasku suchego m^3	wody m^3
1:1	800	0,67	0,32
1:1,5	625	0,78	0,30
1:2	525	0,87	0,27
1:2,5	445	0,93	0,25
1:3	400	1,00	0,23
1:4	310	1,03	0,22
1:5	225	1,05	0,21
1:6	210	1,05	0,21

Dokładniejsza pod tym względem jest proporcja wagowa. Odważanie składników zaprawy w stanowisku pracy jest zbyt kłopotliwe, dlatego w praktyce stosowana jest proporcja wagowo-objętościowa. W tablicy 6 podano orientacyjne przeliczenie stosunku objętościowego na wagowo-objętościowy dla ciężaru

cementu wynoszącego 1,2 t/m^3. Najczęstszymi proporcjami zapraw stosowanymi w budownictwie górniczym są: 1:2, 1:3, rzadziej 1:4. Ilość wody używana do zapraw nie powinna być za duża ponieważ ze zwiększeniem jej ilości obniża się wytrzymałość zaprawy, a tym samym i muru.

1.3.3. Marki zapraw dotychczas stosowane w budownictwie podziemnym kopalń

Spośród marek zapraw stosowanych w budownictwie naziemnym podanych w tablicy 7; w budownictwie podziemnym stosowana jest dotychczas przeważnie marka 80. Stosowanie w technice budownictwa naziemnego zapraw wyższych marek jest niecelowe z uwagi na niskie marki cegły, natomiast w budownictwie górniczym powoduje wzrost wytrzymałości murów, a więc jest celowe i ekonomicznie uzasadnione. Analizując wytrzymałość zapraw dochodzi się do wniosku, że zależy ona głównie od: sposobu przyrządzania zapraw, wytrzymałości cementu, stosunku wodo-cementowego, stosunku cementu do piasku, rodzaju kruszywa i jego uziarnienia oraz warunków wiązania. Wpływ stopnia uziarnienia piasku na kształtowanie się wytrzymałości zapraw cementowych uwidoczniono w tablicy 8. Przybliżoną markę zaprawy cementowej można uzyskać wykorzystując wzór (1).

$$Rz = Rc_1 \left(\frac{1}{n} - 0{,}05\right) + 4 \qquad (1)$$

gdzie:

n - ilość objętościowa piasku na 1 część cementu.

Na wytrzymałość i czas wiązania zaprawy posiadają również wpływ takie domieszki jak $CaCl_2$ i inne, które jednak z uwagi na zakres pracy nie będą omawiane.

Tablica 7

Marki zapraw stosowane w budownictwie naziemnym

Znak zaprawy	Wytrzymałość w kg/cm^2		
	Miarodajna na ściskanie		Orientacyjna na rozciąganie
	nie mniej	poniżej	
100	100	-	8
80	80	100	8
50	50	80	7-8
30	30	50	5-7
15	15	30	3-5
8	8	15	2-3
4	4	8	1-2
2	2	4	0,5-1
0	0	2	0

Tablica 8

Wpływ uziarnienia kruszywa na wytrzymałość zapraw cementowych

Rodzaj piasku	Piasek drobnoziarnisty	Piasek średnioziarnisty
Analiza sitowa otwory sit w mm	Pozostałość pomiędzy sitami w % wag.	
1	2	3
4 - 2	-	1,5
2 - 1	-	4,0
1 - 0,5	0,9	39,0
0,5-0,25	17,9	54,3
0,25-0,1	67,9	1,2
0,1-0	14,2	-

cd. tablicy 8

1	2	3
Ciężar objętościowy	1,49	1,68
Ilość próżni w %	43,80	36,40
Wytrzymałość zaprawy cementowo-piaskowej na ściskanie w kG/cm^2 po 28 dniach		
stosunek 1:1	252	470
1:2	216	374
1:3	182	262

1.3.4. Stosowanie obudowy ceglanej i betonitowej w budownictwie górniczym - w świetle praktyki kopalnianej

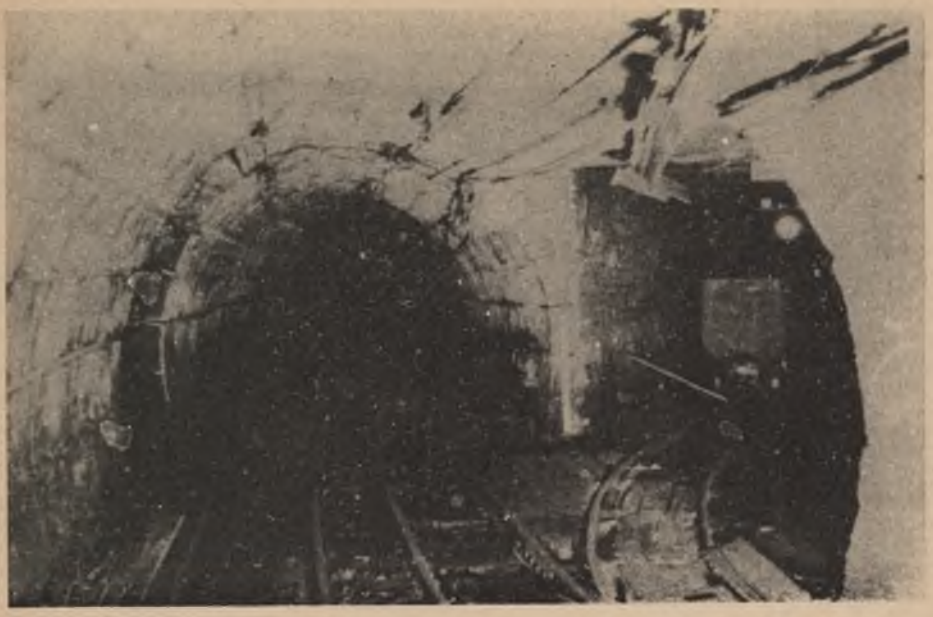
Prowadząc bardzo rozległą obserwację wykonywanych obudów wyrobisk górniczych w Zagłębiu Dolnośląskim i Górnośląskim można stwierdzić, że mimo malejącej stopniowo liczby wyrobisk w obudowie ceglanej czy betonitowej - obudowę tą wykonuje się dość często. Miejscami stosowania obudowy ceglanej czy betonitowej są przeważnie podszybia, wyrobiska przyszybowe (rys. 8, 9, 10), rozwidlenia (rys. 3, 4, 11), odgałęzienia i skrzyżowania, komory i wjazdy do komór, rzadziej przekopy (rys. 1, 2, 12, 13) czy przecznice, a także wyrobiska pionowe tj. szyby i szybiki (rys. 5).

Dla poparcia powyższych danych w tablicy 9 zestawiono niektóre wyrobiska wykonywane w obudowie murowej w roku 1963 przez Przedsiębiorstwo Budowy Szybów w Bytomiu. Przedsiębiorstwo Robót Górniczych w Mysłowicach, Sosnowcu, Gliwicach i Katowicach. Natomiast w tablicy 10 przykładowo zestawiono niektóre wyrobiska wykonywane lub już ukończone w obudowie ceglanej i betonitowej na kilku kopalniach. W szybach, w których zaprojektowano i będzie wykonywać się obudowę betonową, odcinek szybu od powierzchni ziemi do pierwszej zwięzłej warstwy tj. do około 50-80 m (z uwagi na montaż urządzenia ślizgowego) PBSz. Bytom wykonuje obudowę z cegły klinkierowej.

Na podstawie zestawień ekonomicznych sporządzonych w PBSz. Bytom dla szybów głębionych w obudowie betonowej z uwagi na

Rys. 8. Wyrobiska przyszybowe i podszybie w obudowie ceglanej

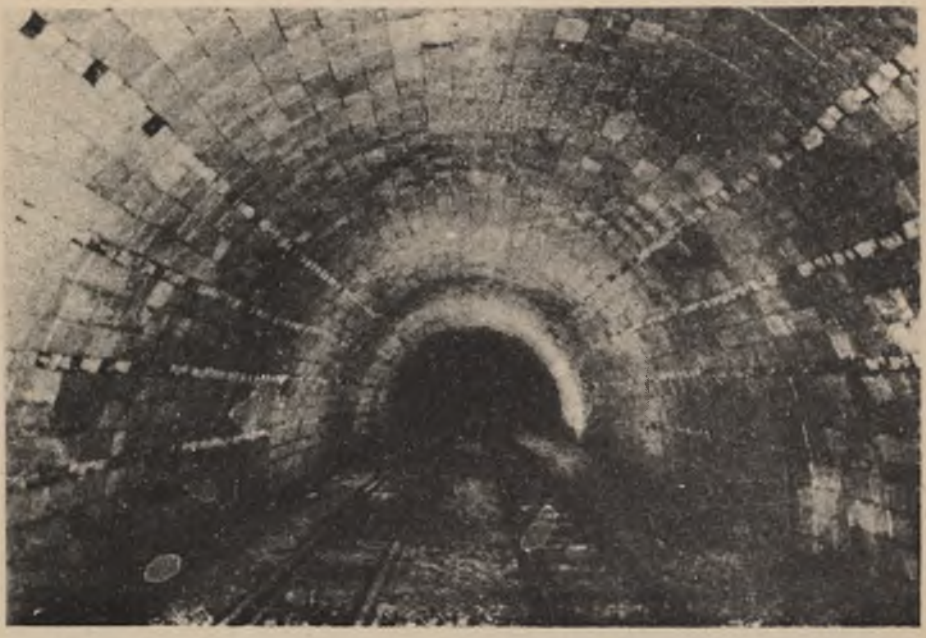
Rys. 10. Wyrobiska przy szybiku w obudowie ceglanej



Rys. 9. Wyrobiska przyszybowe i podszybie w obudowie betonitowej i ceglanej

Rys. 11. Rozwidlenie dwutorowego przekopu w obudowie ceglanej

Rys. 12. Przekop w obudowie ceglanej



Rys. 13. Przekop w obudowie betonitowej z umieszczonymi w niej wkładkami drewnianymi

Wyrobiska pionowe (szyby) wykonywane w roku 1963
w obudowie ceglanej i betonitowej
przez PBSz - Bytom, PRG - Mysłowice, Gliwice i Katowice

Lp.	Nazwa kopalni na której się głębi szyb	Nazwa szybu	Rodzaj zastosowanej obudowy	U w a g i
1.	Miechowice	Ignacy	betonitowa	
2.	Rozbark	Barbara	"	
3	Halemba	Radoszowy	"	przewiduje się
4	Wanda-Lech	Walenty-Wawel	"	
5	Niwka-Modrzejów	Kazimierz III	betonitowo-ceglana	roboty na ukończeniu
6	Słupiec	Słupiec II	.	planuje się przejście z betonu na betonity
7	Moszczenica I	Moszczenica I	betonitowa	część w tubingach żelbetonowych
8	Jastrzębie	Jastrzębie VI	"	
9	Marcel	Jedłownik	"	
10	Anna	Chrobry II	"	głębokość do 1000 m ze względu na mały plac budowy w obudowie betonitowej
11	Wujek	Wujek	"	
12	Murcki	Murcki	"	już zgłębiony
13	Staszic	Staszic V	"	
14	"	" IV	"	
15	"	" I	"	
16	"	" II	"	
17	"	" III	betonitowo-betonowa	do 100 m betonit.
18	Thorez	szybik	betonitowa	

Tablica 10

Niektóre wyrobiska korytarzowe wykonywane w IV kwartale 1963 r.
w obudowie ceglanej i betonitowej
w kilku kopalniach Zagłębia Górnośląskiego

Nazwa kopalni	Nazwa wyrobiska	Przekr. wyrob. m^2	Rodzaj skał w stropie	Grub obud om	Rodzaj obudowy	Uwagi
Polska	skrzyżowanie przekopu przewozowego w pokł. 507	11,8 7,4 6,9 19,7 21,4	łupek piaszczysty	52 38 38 64 64	betonit.	głębokość na jakiej wykonano wyrobisko H = 450m
	odgałęzienie przekopu rurowego do szybu podsadzkowego	13,0 5,3 4,8 7,2	piaskowiec	38 25 25 25	"	H = 500 m
	rozwidlenie przecznicy z przekopem	5,6 7,2 18,4	łupek, łupek piaszczysty	38 38 51	"	H = 500 m
	skrzyżowanie przekopu went. z chodnikiem główn. w pokł. 507	7,0 7,0	piaskowiec	51	"	H = 300 m
Mortimer-Porąbka	przekop zachodni poz. 190	-	-	-	ceglana betonitowa	
Łagiewniki	przekop	-	łupek, piaskow.	38 64	do 550 m ceglana	wykonano dł. cał. przek = 2200 m
Siemianowice	przekop, poz. 321	-	łupek, piaskow.	51	ceglana	= 1500 m
Katowice	komora skipowa poz. 630 przy szybie Gwarek	37,2 87,1	łupek piaszcz.	51	"	dł. = 14,9 mb
	komora rozdzielcza 6 kV poz.630	13,2	łupek piaszcz.	38	"	dł. = 23,4 mb
Wieczorek	komora maszyny wyciąg.	34,3	piaskowiec	51	"	dł. = 7,5 mb
	komora wentyl. poz. 550	22,1	łupek piaszcz.	51 38	"	dł. = 7,5 mb dł. = 20,5 mb
Kleofas	zajezdnia elektrow. LD-2	26,3	"	51	"	dł. = 63,5 mb
	komora p.pożar. poz. 570	13,9	"	38	betonit.	dł. = 12,76mb
Prezydent	komora maszyny wyciągow. szybu Kleofas	57,62	łupek piaszcz.	77	ceglana	dł. = 13 mb
	komora rozdzielni poz. 80	18,5	łupek ilasty	51	betonit.	dł. = 28,5 mb
Siemianowice	komora głównego odwadniania poz. 460	30,5	łupek pokład 51	51	"	dł. = 31,76mb
	komora rozdz. 3kV, poz. 460	19,2	"	51	"	dł. = 20,76mb
	odgałęzienie przekopu środk. do komory	21,5	łupek piaszcz.	77	ceglana	wykonano w 1960 r.
	odgałęzienie przekopu środ. do ohodnika podst. 507	20,5	węgiel	77	ceglana	

bardzo duży koszt urządzeń do wykonywania tej obudowy przyjęto zasadę, że szyby w obudowie betonowej opłaci się wykonywać, jeżeli głębokość szybu wynosi minimum 500 m. Poza opisanymi warunkami, w których wykonuje się obecnie wyrobiska w obudowie ceglanej tudzież betonitowej należy pamiętać również, że na wybór rodzaju obudowy ma także decydujący wpływ miejsce głębienia szybu, od którego zależą rozmiary placu budowy. Plac budowy w przypadku głębienia szybu w mieście (między zabudowaniami) nie zawsze umożliwia rozmieszczenie sprzętu do zmechanizowanego przygotowania betonu.

1.3.5. Sposoby obliczania grubości obudów i przyjmowane wytrzymałości murów wykonywanych w budownictwie górniczym

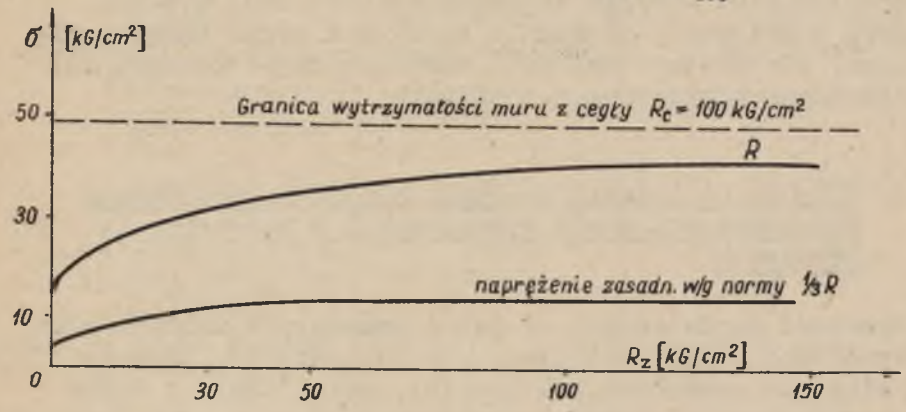
Wytrzymałość murów ceglanych jak i betonitowych zależna jest od wytrzymałości cegły, betonitu, rodzaju zaprawy, grubości spoin i wiązania prefabrykatów (cegieł, betonitów), a także od wykonawstwa oraz warunków hydrogeologicznych w jakich wykonywana jest obudowa. Z powyższego wynika, że wytrzymałość muru jest funkcją niezmiernie złożoną, gdzie poszczególne niezależne mogą się zmieniać w sposób dość dowolny, trudny do uchwycenia. Uchwycenie we wzorze wpływu tych czynników na kształtowanie się wytrzymałości muru jest więc bardzo trudne.

Wytrzymałość muru uzależnia się od wytrzymałości zaprawy, którą ona uzyskuje po upływie 28 dni od chwili jej wykonania przyjmując za miarodajną wytrzymałość muru (w podobny sposób jak dla zaprawy) wytrzymałość jego na ściskanie po upływie 28 dni. Oczywiście w miarę leżenia zaprawy wytrzymałość muru dalej wzrasta, aż do roku czasu, co wykazały dotychczasowe badania - jednak w obliczeniach uwzględnia się 28-dniową wytrzymałość muru. Spośród wielu wyprowadzonych wzorów określających wytrzymałość muru ceglanego na ściskanie (R_m^n) bez uwzględnienia zjawiska wyboczenia - w praktyce stosuje się wzór Oniszczyka (PN/B-182), który ma postać:

$$R_m^n = R_c \frac{100 + Rc}{100 + 3{,}3\,Rc}\left(1 - \frac{0{,}2}{0{,}3 + \frac{Rz}{2Rc}}\right) \qquad (2)$$

Wytrzymałość na ściskanie muru wykonanego z betonitów oblicza się wzorem Żenczykowskiego-Oniszczyka (PN/B-182), który ma postać:

$$R_m^n = Rc\ (0{,}33 + \frac{15}{Rc})(1 - \frac{0{,}2}{0{,}3 + \frac{Rz}{Rc}}) \qquad (3)$$



Rys. 14. Wpływ wytrzymałości zaprawy na wytrzymałość muru wykonanego z cegły marki 100

Z wzoru (2) i (3) wynika, że na wytrzymałość muru zasadniczy wpływ ma rodzaj prefabrykatów i zaprawy. Wpływ wytrzymałości zaprawy na wytrzymałość muru przykładowo dla cegły marki 100 zobrazowano na (rys. 14), a wytrzymałości normowe murów ceglanych na ściskanie przy różnych zaprawach podano w tablicy 11. Z rysunku 14 wynika, że wytrzymałość zaprawy wydatnie wpływa na wytrzymałość murów, co jest bardzo celowe z uwagi na możliwość zmniejszania grubości ścianki obudowy. Mimo korzyści wynikających ze stosowania zapraw wysokich marek - w budownictwie górniczym, jak dotychczas własność ta nie jest właściwie wykorzystana. Przyjmowany współczynnik pewności (bezpieczeństwa) oraz stosowane dotychczas rodzaje murów w budownictwie podziemnym kopalń i ich wytrzymałości zestawiono w tablicy 12. Z dotychczas przeprowadzonych wstępnych rozważań wynika, że obecnie w budownictwie górniczym bardzo często stosuje się obudowę ceglaną i betonitową, której grubość określa się:

a) dla wyrobisk korytarzowych wzorami:

$$\text{Tura}\quad d_k = \frac{0{,}5\ h_o - 0{,}08\ l_o}{0{,}75 + 0{,}04 \sin \frac{\alpha}{2}} \quad \text{lub} \qquad (4)$$

Tablica 11

Normowe wytrzymałości (obliczeniowe) murów ściskanych wykonanych na zaprawach marki od 0-80

Rodzaj cegły	Wytrzym. cegły R_c kg/cm^2	Wytrzymałości obliczeniowe murów na ściskanie przy zaprawach marki						
		80	50	30	15	8	2	0
Cegła pełna wypalana z gliny	350	65	58	53	-	-	-	-
Cegła pełna wypalana z gliny	250	54	47	42	38	-	-	-
Cegła pełna	150	41	36	31	28	25	22	21
Cegła pełna	100	33	30	26	22	19	16	15
Cegła pełna	75	29	25	22	19	16	14	12

Protodiakonowa

$$d_k = \frac{4{,}4\, l_o}{\sigma_{dop}\sqrt{f_1}} \sqrt[3]{\frac{l_o}{h_o}} \qquad (5)$$

b) dla wyrobisk pionowych przeważnie wzorami:

Lame $$d_s = r\left(\sqrt{\frac{\sigma_c}{\sigma_c - 2p}} - 1\right) \qquad (6)$$

Hubera $$d_s = r\left(\sqrt{\frac{\sigma_c}{\sigma_c - \sqrt{3}\,p}} - 1\right) \qquad (7)$$

Jeżeli obudowa jest wodoprzepuszczalna, to po przekształceniu wzoru podanego w pracy [14]

$$\frac{\sigma_c}{p} = \frac{1+\mu}{1-z} - \frac{1-\mu}{\ln z} \qquad (8)$$

Tablica 1

Naprężenia dopuszczalne przyjmowane przy projektowaniu obudowy murowej wyrobisk górniczych

Rodzaj muru	Wytrzymałość obudowy kG/cm^2	Nap. dopuszczalne obudowy kG/cm^2	Współczynnik bezpieczeństwa
Beton monolityczny marki 250	200	67	3
Betonity marki 250 na zaprawie cementowej 1:3 marki 80	150	50	3
Cegła marki 350 na zaprawie cementowej 1:3 marki 80	81	27	3
Cegła marki 250 na zaprawie cementowej 1:3 marki 80 ...	66	22	3
Pełna wypalana z gliny marki 150 na zaprawie cementowej marki 80 1:3 ...	45,5	15	3

gdzie

$$z = \left(\frac{r_o}{r_o + d}\right)^2$$

można również określić grubość obudowy.

We wzorach oznaczają:

d_k - grubość obudowy murowej wyrobiska korytarzowego,

d_s - grubość obudowy murowej wyrobiska pionowego (szybowego),

σ_c - dopuszczalne naprężenie na ściskanie materiału obudowy,

p. - ciśnienie poziome górotworu działającego na obudowę,

l_o - połowa szerokości wyrobiska korytarzowego, w świetle obudowy,

h_o - strzałka sklepienia obudowy,

α - kąt rozwarcia sklepienia obudowy,

f_1 - wskaźnik zwięzłości skały zalegającej w stropie wyrobiska (wskaźnik zwięzłości wg Protodiakonowa),

r - promień wyrobiska pionowego w świetle obudowy,

μ - liczba Poissona.

Poszczególne elementy tej obudowy spaja się zaprawą cementową marki 80. Stosowanie w obudowie murowej zaprawy marki 80 znacznie odbiegającej od marki cegieł czy betonitów nie pozwala na właściwe wykorzystanie ich wytrzymałości; przyczyniając się tym samym do wykonywania obudowy murowej większych grubości. Wpływa to ujemnie na kształtowanie się wskaźników ekonomicznych określających koszty wykonywania wyrobiska górniczego.

Mając powyższe na uwadze, niniejsza praca jest poświęcona badaniom nad ustaleniem zapraw wyższych marek, a także badaniom murów ceglanych i betonitowych, obciążonych osiowo co szczególnie ma miejsce wówczas, gdy ciśnienie górotworu działające na obudowę jest znacznie większe od ciśnienia bocznego (poziomego), w których poszczególne elementy spajane są zaprawami marek zbliżonych do wytrzymałości cegieł i betonitów.

W badanych murach przy obciążeniu osiowym zastosowano różne marki zapraw i ułożenia cegieł, betonitów, co pozwoliło na prześledzenie kształtowania się ich wytrzymałości przy różnych wiązaniach elementów budujących mur.

Stosowanie dotychczasowych wzorów do obliczania doraźnej wytrzymałości muru w odniesieniu do murów wykonanych na zaprawach wyższych marek nie daje zadowalających wyników, dlatego w pracy podjęto próbę ustalenia nowych wzorów - wykorzystując w tym celu wyniki wytrzymałościowe zbadanych murów wykonanych na nowych zaprawach.

W celu udokumentowania słuszności stosowania nowych marek zapraw zbliżonych do marki cegły, betonitu i wynikających stąd korzyści, przeprowadzono krótką analizę ekonomiczną obudowy murowej wyrobisk górniczych, wykorzystując do tego celu wytrzymałość murów wykonanych na zaprawach dotychczasowych i zaprojektowanych - opisanych w punkcie 2.1.2 niniejszej pracy.

II. CZĘŚĆ SZCZEGÓŁOWA (badawczo-teoretyczna)

2.1. Badania nad podniesieniem wytrzymałości obudowy ceglanej i betonitowej stosowanej w wyrobiskach górniczych

2.1.1. Metodyka i zakres badań

W celu zbadania kształtowania się wytrzymałości murów ceglanych i betonitowych wykonanych na zaprawach wyższych marek w pierwszej kolejności ustalono składniki tych zapraw wg trzech przyjętych krzywych uziarnienia kruszywa, a następnie przygotowaną zaprawę umieszczono w formach:

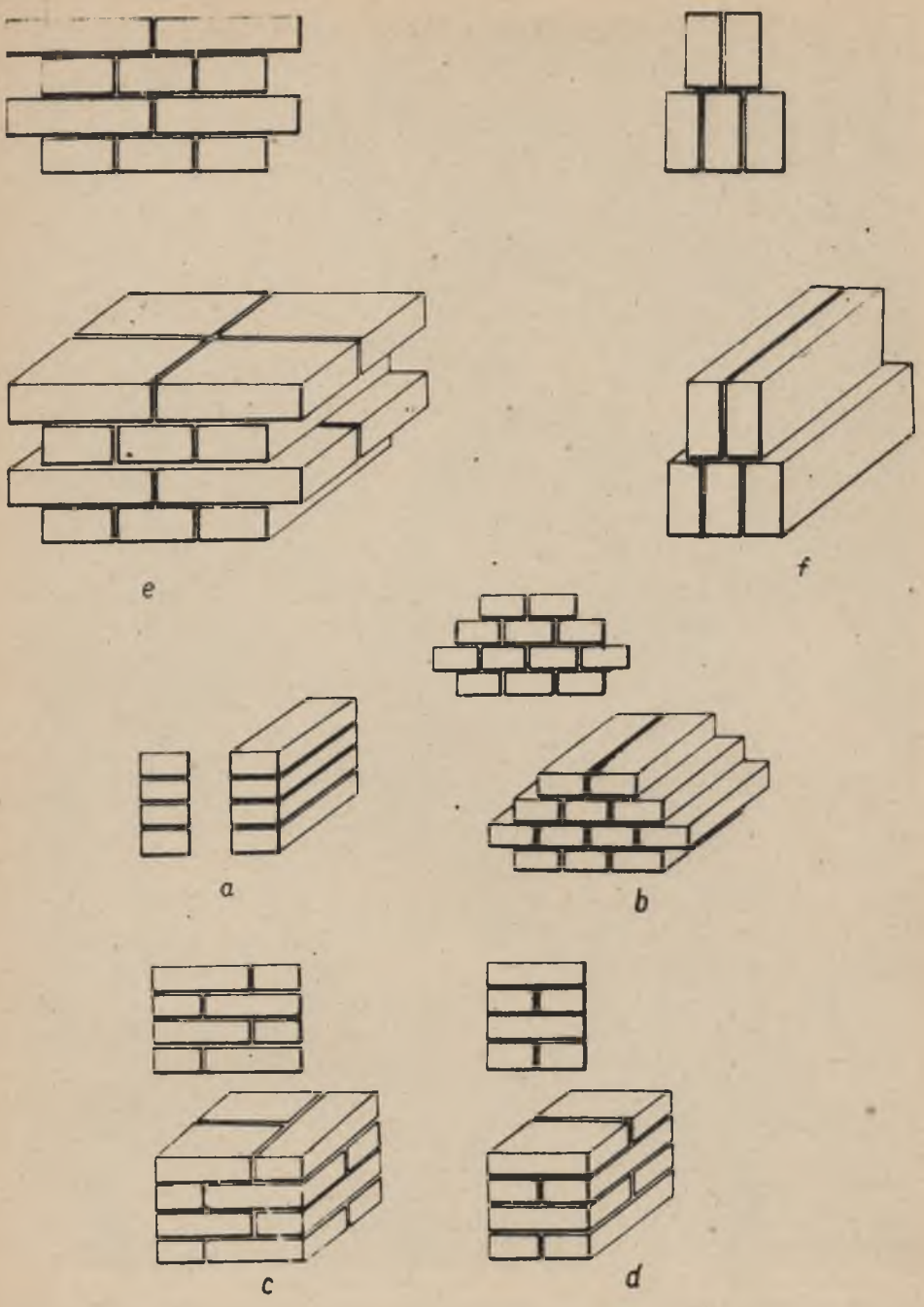
1 - w kształcie walca o wymiarach: wysokość (h) x średnica (D) wynoszących h = D = 160 mm i 80 mm - dla badania marki zaprawy,

2 - w kształcie beleczek o wymiarach 40x40x160 mm - dla badania zaprawy na zginanie,

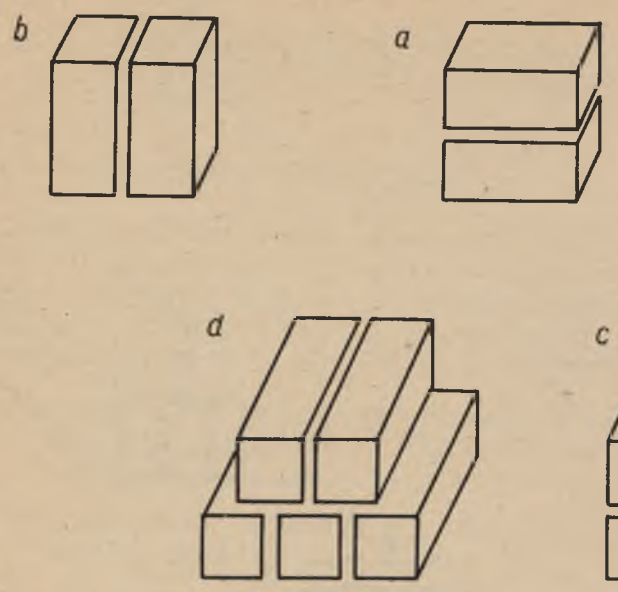
3 - w kształcie ósemek - dla badania zaprawy na rozciąganie.

Zaprawy uprzednio sporządzone (z których wykonano próbki do badań wytrzymałościowych) użyto dla łączenia (spojenia) prefabrykatów (cegieł pojedynczych, cegieł podwójnych oraz betonitów), z których wykonano mury o różnych układach i wiązaniach spotykanych w budownictwie podziemnym kopalń przy wykonywaniu wyrobisk górniczych, w których obudowa współpracuje z górotworem w różnych warunkach górniczo-geologicznych. Z cegły pojedynczej przygotowano do badań sześć rodzajów murów, w których układy cegieł pokazano na (rys. 15), z cegły podwójnej cztery rodzaje o układach cegieł jak na (rys. 16), a z betonitów dwa rodzaje o układach betonitów jak na (rys. 17).

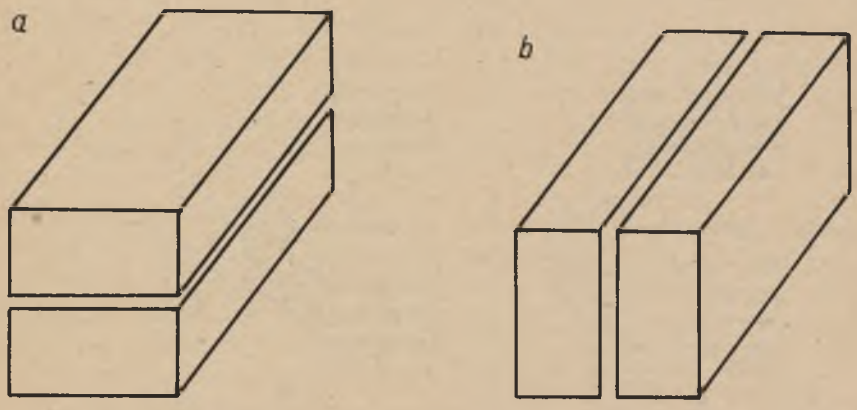
Przedstawione układy murów na (rys. 15) dla marek cegły 250 i 350, na (rys. 16) układy z cegły szybowej (podwójnej) oraz na (rys. 17) układy z betonitów - wykonano na zaprawach sporządzonych zgodnie z trzema krzywymi uziarnienia (rys. 19) i z cementów marki 250, 350 i 400. Przygotowane zaprawy do badań przechowywano w specjalnej komorze projektu autora (rys. 18), w której stworzono warunki zbliżone do warunków kopalnianych. Wykonane mury przechowywano w Hali Technologicz-



Rys. 15. Układy murów z cegły pojedynczej marki 250 i 350.



Rys. 16. Układy murów z cegły podwójnej (szybowej) marki 180



Rys. 17. Układy betonitów marki 200 - w murze obudowy wyrobiska górniczego

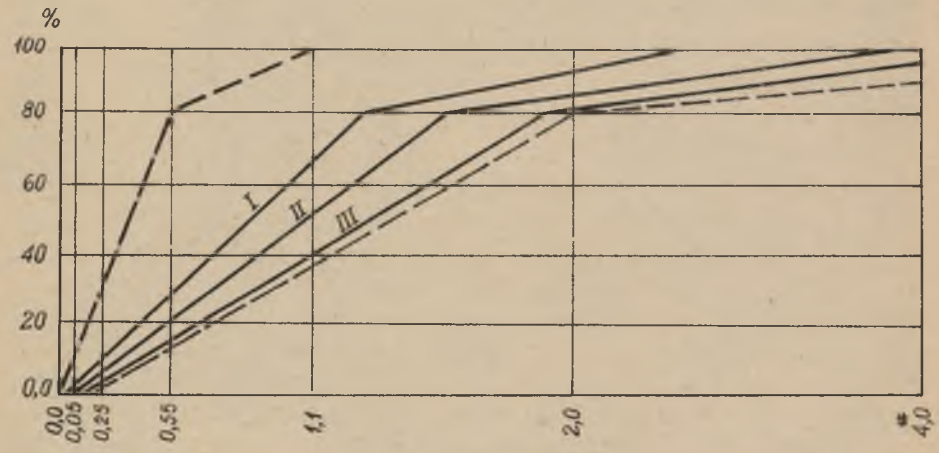
Rys. 18. Komora do przechowywania próbek betonowych, zapraw pomysłu autora

nej Wydziału Górniczego Politechniki Śląskiej (rys. 20),gdzie systematycznie polewano wodą dla zapewnienia właściwych warunków wiązania. Po upływie 28 dni próbki zapraw i muru poddano badaniu. Oznaczenie marki zapraw jak i murów dokonano w prasie hydraulicznej 150 t, natomiast wytrzymałość zaprawy na rozciąganie i zginanie oznaczono w aparacie Michaelisa.

2.1.2. Badania nad ustaleniem zapraw wyższych marek

2.1.2.1. Składniki zapraw wyższych marek

Do badań, których zadaniem było ustalenie zaprawy marki zbliżonej do marki prefabrykatu użyto cementu portlandzkiego marki 350, 400 i 450 - dostarczonej z Kopalni "Zofiówka". Kruszywo do zapraw stanowił zespół ziarn pochodzenia naturalnego, których średnica wahała się w granicach od 1-4 mm. Przy projektowaniu nowej zaprawy przyjęto trzy różne układy krzywych uziarnienia (rys. 19) wg których dobierano kruszywo. Skład procentowy poszczególnych frakcji kruszywa dla krzywych I, II, III (rys. 19) zestawiono w tablicy 13.



Rys. 19. Krzywe uziarnienia wykorzystane do sporządzania zapraw wyższych marek

Tablica 13

Skład procentowy frakcji kruszywa użytego do zapraw

Frakcja	I krzywa %	II krzywa %	III krzywa %
0,0-0,102	0,0	3,0	0,0
0,102-0,25	8,0	9,0	6,0
0,25-0,55	16,0	15,0	12,0
0,55-1,0	38,0	33,0	21,0
1,0-2,0	36,0	30,0	42,0
2,0-4,0	2,0	10,0	10,0
R a z e m:	100,0	100,0	100,0

Tablica 14

Przeciętna ilość składników przypadająca na $1m^3$ gotowej zaprawy

Stosunek wagowo-objętościowy cementu do piasku	Przeciętna ilość składników na m^3 gotowej zaprawy		Wody m^3
	cementu kg	piasku m^3	
1:2	525	0,87	0,27
1:3	400	1,00	0,23
1:4	310	1,03	0,22

Dla zarobienia zaprawy stosowano wodę kanalizacyjną zdatną do picia, a więc wolną od domieszek chemicznych szkodliwie działających na własności zaprawy. Składniki zapraw dodawano w stosunku wagowo-objętościowym. Dla każdej krzywej uziarnienia wykonano po trzy próbki (dla każdego cementu marki 350, 400 i 450) o trzech różnych stosunkach wagowo-objętościowych, a to 1:2, 1:3, 1:4. Ilość składników w zaprawie przy różnych

Rys. 20. Mury w czasie wiązania

stosunkach wagowo-objętościowych podaje tablica 14. Posługując się krzywymi uziarnienia (rys. 19) oraz tablicami 13, 14 obliczono ilość kruszywa potrzebnego dla poszczególnych stosunków z uwzględnieniem odpowiednich frakcji uziarnienia (przypadających na 2 m^3 zaprawy), które zestawiono w tablicach 15, 16, 17.

Przygotowywanie zapraw odbywało się ręcznie wg zaleceń normy.

Tablica 15

Frakcje zaprawy o stosunku 1:2 dla trzech krzywych uziarnienia

Frakcja	Wg I krzywej uziarn. %	Ilość kruszywa w litrach	Wg II krzywej uziarn. %	Ilość kruszywa w litrach	Wg III krzywej uziarn. %	Ilość kruszywa w litrach
0,00-0,102	0,0	0,0	3,0	52,8	0,0	0,0
0,102-0,25	8,0	140,0	9,0	158,4	6,0	105,6
0,25-0,55	16,0	281,6	15,0	264,0	12,0	211,2
0,55-1,00	38,0	688,8	33,0	580,8	21,0	369,6
1,00-2,00	36,0	633,6	30,0	528,0	42,0	739,2
2,00-4,00	2,0	35,2	10,0	176,0	19,0	334,4
R a z e m:	100,0	1760,0	100,0	1760,0	100,0	1760,0

Tablica 16

Frakcje zaprawy dla stosunku 1:3 dla trzech krzywych uziarnienia

Frakcja	Wg I krzywej uziarn. %	Ilość kruszywa w litrach	Wg II krzywej uziarn. %	Ilość kruszywa w litrach	Wg III krzywej uziarn. %	Ilość kruszywa w litrach
0,0-0,102	0,0	0,0	3,0	60,0	0,0	0,0
0,102-0,25	8,0	160,0	9,0	180,0	6,0	120,0
0,25-0,55	16,0	320,0	15,0	300,0	12,0	240,0
0,55-1,0	38,0	760,0	33,0	660,0	21,0	420,0
1,0-2,0	36,0	720,0	30,0	600,0	42,0	840,0
2,0-4,0	2,0	40,0	10,0	200,0	19,0	380,0
R a z e m:	100,0	2000,0	100,0	2000,0	100,0	2000,0

Tablica 17

Frakcje zaprawy dla stosunku 1:4 dla dwóch krzywych uziarnienia zapraw

Frakcja	Wg I krzywej uziarn. %	Ilość kruszywa w litrach	Wg III krzywej uziarn. %	Ilość kruszywa w litrach
0,0-0,102	0,0	0,0	0,0	0,0
0,102-0,25	8,0	168,0	6,0	126,0
0,25-0,55	16,0	336,0	12,0	252,0
0,55-1,0	38,0	798,0	21,0	441,0
1,0-2,0	36,0	756,0	42,0	882,0
2,0-4,0	2,0	42,0	19,0	399,0
R a z e m:	100,0	2100	100,0	2100

2.1.2.2. Wytrzymałość na ściskanie, zginanie i rozciąganie zaprojektowanych zapraw

Ocenę wytrzymałości przygotowanych zapraw z cementów 350, 400 i 450 wg krzywych uziarnienia (rys. 19) otrzymano w wyniku ściskania (po upływie 28 dni) w prasie hydraulicznej 16 cm i 8 cm walców tych zapraw (rys. 21 i 22). Uzyskane wyniki ze ściskania niektórych walców 8 cm i 16 cm zestawiono w tablicy 18 - dla zaprawy wykonanej na cemencie 350, w tablicy 19 - dla zaprawy wykonanej na cemencie marki 400 oraz w tablicy 20 - dla zaprawy wykonanej na cemencie marki 450.

Wytrzymałość zapraw na zginanie określono badając po 28 dniach beleczki zapraw w aparacie Michaelisa (rys. 23). W pracy (z uwagi na jej objętość) podano w tablicach tylko niektóre wyniki otrzymane z badań nad wytrzymałością zapraw na zginanie; w tym w tablicy 21 - dla zapraw wykonanych na cemencie marki 350 w tablicy 22 - dla zapraw wykonanych na cemencie marki 400 oraz w tablicy 23 - dla zapraw wykonanych na cemencie marki 450.

Wytrzymałość zaprojektowanych zapraw na rozciąganie również otrzymano w wyniku badania w aparacie Michaelisa (rys. 24) przygotowanych uprzednio próbek zapraw w kształcie ósemek. Wielkości uzyskane z badań zestawiono w tablicy 24. W tablicach 18, 19, 20, 21, 22, 23, 24 podane cyfry (1, 2, 3) przy numerach próbek (np. I-1, I-2, I-3) oznaczają wg której krzywej uziarnienia wykonano próbki zaprawy do badań. Próbki walcowe 8 cm i 16 cm w czasie ustalania marki przez ściskanie ich w prasie hydraulicznej ulegały deformacji, co przedstawiono na (rys. 25).

2.1.2.3. Odkształcenia pionowe, poziome, moduł Yunga nowych zapraw - w świetle badań wytrzymałościowych

W celu prześledzenia przebiegu odkształceń potrzebnych dla ustalenia modułu Yunga badanych zapraw, zainstalowano na prasie czujniki mechaniczne, co pokazano na (rys. 20, 21) oraz płytki przekaźnikowe - niewidoczne na zdjęciach z uwagi na lepsze przedstawienie przebiegu rys i pęknięć badanych zapraw i murów. Wielkość rzeczywistych odkształceń badanych zapraw ustalono na drodze pomiarowo-analitycznej, wykorzystując wzory:

$$E = \frac{\sigma_c}{\varepsilon} = \frac{\sigma_c}{\Delta l} \cdot l \qquad (9)$$

Tablica 18

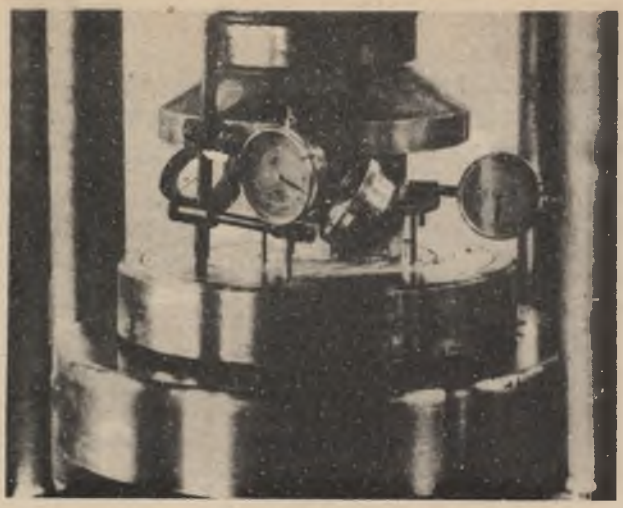
Wytrzymałość zapraw na ściskanie
wykonanych z cementu portlandzkiego 350

Nr próbki	Średnica próbki mm	Stos cem. do piasku	Wytrzymałość przy rysach kG/cm^2	Wytrzymałość przy której próbka ulega zniszczeniu kG/cm^2	Średnia wytrzymałość kG/cm^2
I-1	160	1:2	122,4	152,50	
I-1	80		125,25	229,63	123,30
I-1	80		125,25	135,25	
I-2	160	1:2	189,72	232,56	
I-2	160		232,56	299,88	178,15
I-2	80		167,0	250,51	
I-2	80		115,24	156,13	
I-3	160	1:2	171,36	238,68	
I-3	160		171,36	244,8	188,96
I-3	80		156,13	187,88	
I-3	80		167,00	229,63	
II-1	160	1:3	171,36	232,56	
II-1	160		171,36	220,32	140,53
II-1	80		115,24	156,13	
II-1	80		104,38	115,24	
II-2	160	1:3	183,60	238,68	
II-2	160		195,84	232,56	152,80
II-2	80		125,24	187,88	
II-2	80		104,38	156,13	
II-3	160	1:3	208,08	250,82	
II-3	160		208,08	250,92	189,76
II-3	80		156,13	167,0	
II-3	80		187,00	229,63	
III-1	160	1:4	97,92	182,52	
III-1	160		110,16	134,64	88,55
III-1	80		62,62	83,50	
III-1	80		83,5	104,38	
III-2	160	1:4	183,60	201,96	
III-2	160		177,48	208,08	163,44
III-2	80		156,13	167,00	
III-2	80		156,10	167,00	

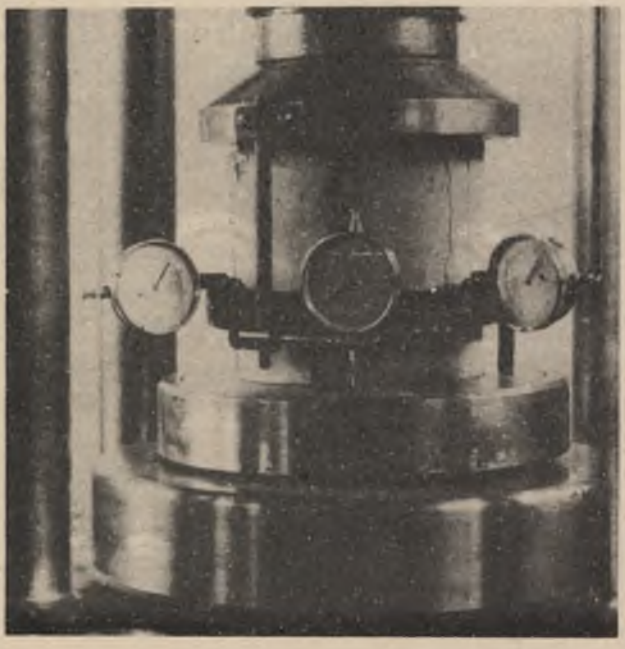
Tablica 19

Wytrzymałość zapraw na ściskanie
wykonanych z cementu portlandzkiego marki 400

Nr próbki	Średn. próbki cm	Stosunek cem. pias.	Wytrzymałość przy rysach kG/cm^2	Wytrzymałość przy której próbka ulega zniszczeniu kG/cm^2	Średnio kG/cm^2
	16		236,16	397,80	
V-1	16	1:2	244,80	336,0	188,08
	8		146,13	250,51	
	8		125,24	208,76	
	16		257,04	351,19	
V-2	16	1:2	195,84	257,04	212,38
	8		108,76	334,01	
	8		187,88	250,51	
	16		208,08	232,56	
V-3	16	1:2	257,04	306,00	215,18
	8		229,63	313,14	
	8		167,00	187,88	
	16		183,60	257,04	
VI-1	16	1:3	257,04	387,8	203,94
	8		208,08	334,01	
	8		176,00	250,51	
	16		195,84	306,0	
VI-2	16	1:3	220,56	321,3	198,04
	8		146,13	167,0	
	8		229,63	354,89	
	16		220,32	293,76	
VI-3	16	1:3	195,84	260,28	192,54
	8		167,0	187,88	
	8		187,0	229,63	



Rys. 21. Badanie wytrzymałości na ściskanie 8 cm walców próbek nowych zapraw



Rys. 22. Badanie wytrzymałości na ściskanie 16 cm walców próbek nowych zapraw

(zdjęcie wykonano po odsłonięciu powierzchni próbki i po obsunięciu pierścienia pomiarowego odkształceń i płytki przekaźnikowej)

Tablica 20

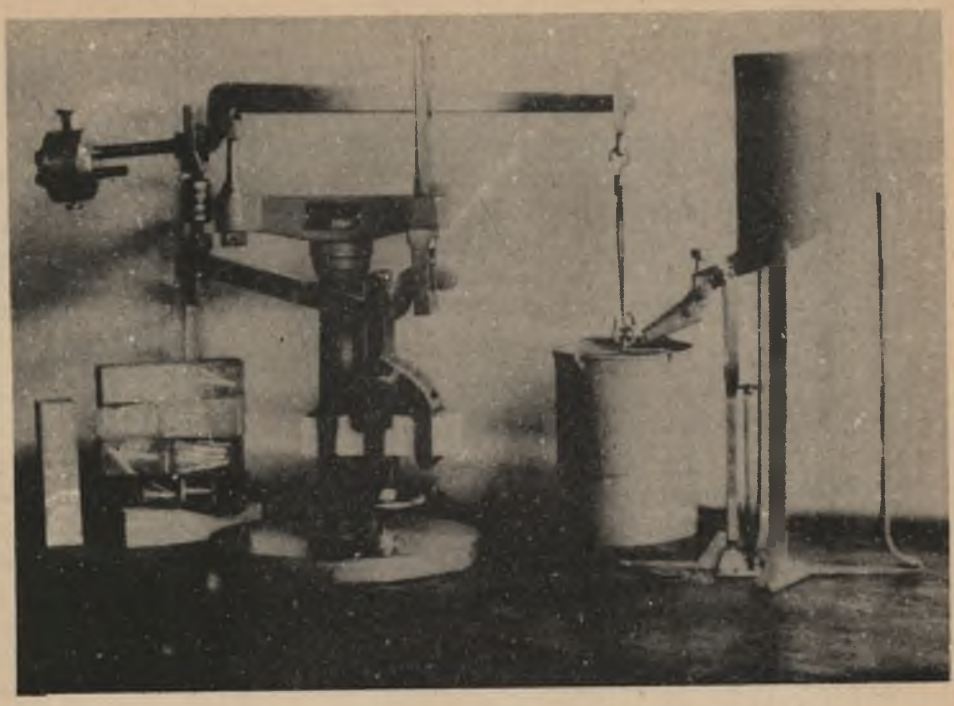
Wytrzymałość zapraw na ściskanie
wykonanych z cementu portlandzkiego marki 450

Nr próbki	Średn. cm	Stosunek cem. pias.	Wytrzymałość przy rysach kG/cm^2	Wytrzymałość przy której próbka ulega zniszczeniu kG/cm^2	Średnia kG/cm^2
	16		232,56	281,52	
VII-1	16	1:2	244,80	367,20	249,81
	8		292,26	375,76	
	8		229,63	292,26	
	16		183,6	293,76	
VII-2	16	1:2	208,08	306,0	217,95
	8		229,63	334,01	
	8		250,51	334,01	
	16		146,88	244,80	
VII-3	16	1:2	306,0	351,90	207,16
	8		208,76	271,38	
	8		167,0	229,63	
	16		171,36	269,28	
VIII-1	16	1:3	306,0	351,90	213,28
	8		208,78	271,38	
	8		167,0	208,76	
	16		257,04	321,3	
VIII-2	16	1:3	244,80	306,0	255,94
	8		271,38	313,14	
	8		250,51	313,14	
	16		220,32	293,76	
VIII-3	16	1:3	269,28	321,30	200,68
	8		146,13	187,88	
	8		167,0	229,63	

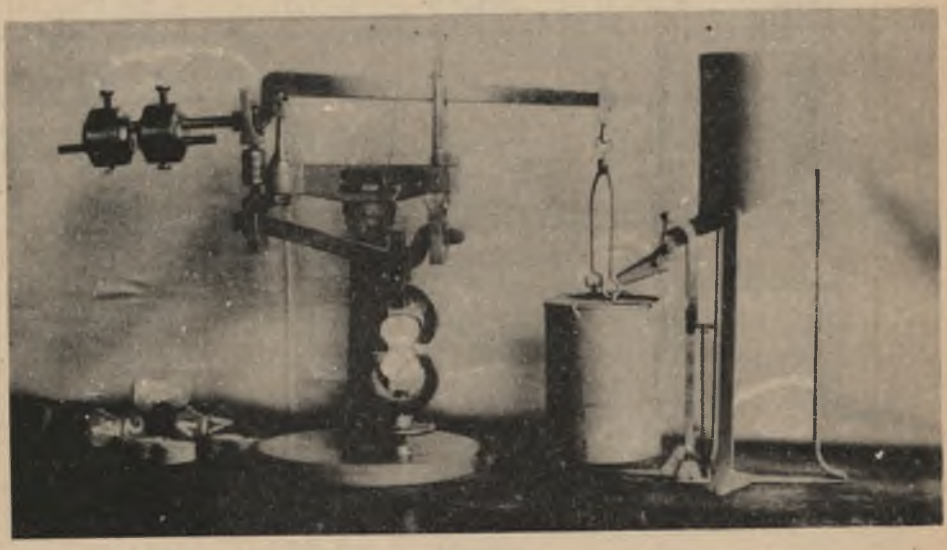
Tablica 21

Wytrzymałość zapraw na zginanie
wykonanych z cementu portlandzkiego marki 350

Nr próbki	Stosunek cem. pias.	Siła łamiąca kG	W cm^3	M kG/cm	Rg kG/cm^2
I-1	1:2	157,90	10,66	689,30	64,60
I-1		181,75	10,66	908,75	85,00
I-1		208,25	10,66	1041,25	97,90
				Rg średnio I-1 =	82,50
I-2	1:2	129,00	10,66	645,00	60,60
I-2		170,25	10,66	851,25	80,00
I-2		165,50	10,66	827,50	77,70
				Rg średnio I-2 =	72,76
I-3	1:2	195,25	10,66	976,25	91,70
I-3		247,25	10,66	1236,25	116,10
I-3		237,75	10,66	1087,75	102,10
				Rg średnio I-3 =	103,30
II-1	1:3	174,75	10,66	873,75	81,9
II-1		196,75	10,66	983,75	92,1
II-1		219,25	10,66	1096,25	100,27
				Rg średnio II-1 =	91,42
II-2	1:3	206,75	10,66	1033,75	97,10
II-2		192,75	10,66	963,75	90,40
II-2		213,75	10,66	1068,75	100,02
				Rg średnio II-2 =	95,84
II-3	1:3	168,25	10,66	841,25	79,00
II-3		181,25	10,66	906,25	85,00
II-3		233,00	10,66	1165,00	109,20
				Rg średnio II-3 =	91,06
III-1	1:4	145,75	10,66	728,75	67,80
III-1		138,25	10,66	691,25	65,00
III-1		140,75	10,66	703,75	66,00
				Rg średnio III-1 =	66,26



Rys. 23. Badanie wytrzymałości zapraw na zginanie



Rys. 24. Badanie wytrzymałości zapraw na rozciąganie

Tablica 22

Wytrzymałość zapraw na zginanie
wykonanych z cementu portlandzkiego marki 400

Nr próbki	Stosunek cem. pias.	Siła łamiąca kG	W (cm^3)	M kG/cm	Rg kG/cm^3
V-1	1:2	305,75	10,66	1528,75	143,0
V-1		326,25	10,66	1631,25	153,0
V-1		287,25	10,66	1436,25	135,0
				Rg średnio V-1 =	143,8
V-2	1:2	310,75	10,66	1553,75	145,9
V-2		336,25	10,66	1681,25	158,0
V-2		281,25	10,66	1406,25	132,0
				Rg średnio V-2 =	145,3
V-3	1:2	256,75	10,66	1283,75	120,6
V-3		285,75	10,66	1428,75	133,9
V-3		255,75	10,66	1278,75	119,9
				Rg średnio V-3 =	124,8
VI-1	1:3	237,75	10,66	1188,75	111,2
VI-1		273,25	10,66	1366,25	128,2
VI-1		248,25	10,66	1241,25	116,5
				Rg średnio VI-1 =	118,86
VI-2	1:3	293,25	10,66	1466,25	137,5
VI-2		290,75	10,66	1453,75	136,4
VI-2		270,25	10,66	1351,25	127,0
				Rg średnio VI-2 =	133,6
VI-3	1:3	284,25	10,66	1421,25	133,5
VI-3		292,25	10,66	1461,25	137,2
VI-3		247,25	10,66	1236,25	116,0
				Rg średnio VI-3 =	128,9

Tablica 23

Wytrzymałość zaprawy na zginanie
wykonanych z cementu portlandzkiego marki 450

Nr próbki	Stosunek cem. pias.	Siła łamiąca (kG)	W (cm^3)	M kG/cm	Rg kG/cm^2
VII-1	1:2	267,5	10,66	1337,5	125,10
VII-1		273,25	10,66	1366,25	128,0
VII-1		300,0	10,66	1500,0	140,0
				Rg średnio VII-1	131,2
VII-2	1:2	308,50	10,66	1542,50	145,0
VII-2		344,25	10,66	1721,25	161,5
VII-2		288,25	10,66	1442,25	135,2
				Rg średnio VII-2	147,23
VII-3	1:2	240,25	10,66	1201,25	113,0
VII-3		247,25	10,66	1236,25	115,9
VII-3		253,25	10,66	1266,25	118,8
				Rg średnio VII-3	115,9
VIII-1	1:3	228,75	10,66	1143,75	107,5
VIII-1		254,0	10,66	1270,0	119,2
VIII-1		226,75	10,66	1133,75	106,2
				Rg średnio VIII-1	110,9
VIII-2	1:3	227,25	10,66	1136,25	106,5
VIII-2		154,25	10,66	1271,25	119,6
VIII-2		258,75	10,66	1293,75	121,5
				Rg średnio VIII-2	115,86
VIII-3	1:3	210,25	10,66	1051,25	98,90
VIII-3		244,75	10,66	1223,75	114,90
VIII-3		203,25	10,66	1016,25	95,50
				Rg średnio VIII-3	103,1

Tablica 24

Wytrzymałość nowych zapraw na rozciąganie

Nr próbki	Stosunek cem. pias.	Marka cementu	Siła niszcząca (kG)	Wytrzymałość na rozrywanie R_{r_2} kG/cm^2
I-1			9,325	1,865
I-2			10,30	2,061
I-3	1:2	350	14,57	2,91
II-1			9,352	1,87
II-2	1:3	350	8,14	1,63
II-3			14,2	2,84
III-1	1:4	350	5,32	1,06
III-2			5,00	1,0
V-1			10,675	2,13
V-2	1:2	400	13,425	2,7
V-3			10,625	2,12
VI-1			11,425	2,29
VI-2	1:3	400	8,275	1,65
VI-3			8,60	1,72
VII-1			8,675	1,73
VII-2	1:2	450	9,075	1,815
VII-3			8,725	1,745
VIII-1			8,425	1,685
VIII-2	1:3	450	9,575	1,91
VIII-3			8,575	1,71

Rys. 25. Deformacje próbek zapraw po ściskaniu

$$\mu = \frac{\varepsilon_p}{\varepsilon} \tag{10}$$

$$m = \frac{1}{\mu} = \frac{\varepsilon}{\varepsilon_p} \tag{11}$$

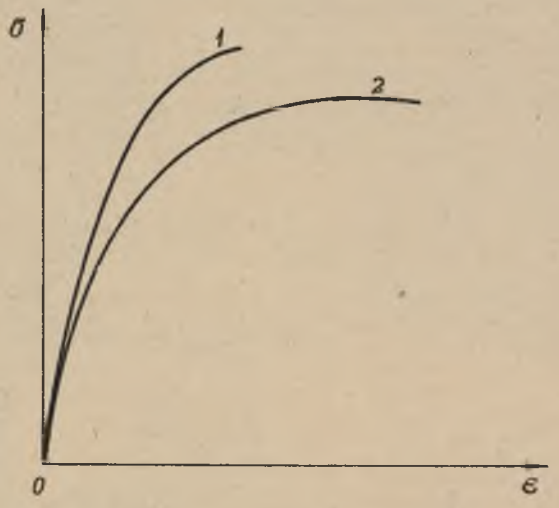
gdzie:

σ_c - naprężenia ściskające,

l, d - wysokość i średnica próbki przed badaniem.

Ze względu na charakter związków zachodzących między naprężeniami i odkształceniami betonu i muru zalicza się je do ciał sprężysto-plastycznych. Jeżeli przedmiotem rozważań jest praca muru czy betonu lub zaprawy pod odciążeniem monotonicznie rosnącym lub stałym (tj. z wykluczeniem odciążenia) model materiału uprościć można do modelu ciała nieliniowo-sprężystego.

Zmienność zależy od prędkości przyrostu obciążenia. Przy prędkim narastaniu obciążenia (zwłaszcza dla zapraw, betonów



Rys. 26. Wykreślne przedstawienie zależności odkształceń od naprężeń

1 - przy obciążeniu narastającym szybko, 2 - przy obciążeniu narastającym wolno

wyższej wytrzymałości) zmienność $\sigma(\varepsilon)$ jest bliska zależności liniowej odpowiadającej prawu Hooka. Przy obciążeniu wolniejszym, nieliniowy charakter związku $\sigma(\varepsilon)$ występuje natomiast w sposób bardzo wyraźny (rys. 26) co szczegółowo omówiono w pracy [41]. Mierzone odkształcenia pionowe i poziome badanych próbek posłużyły do ustalenia ich modułu Yunga oraz liczby Poissona. Wielkości te zbliżone były do wartości uzyskiwanych przy badaniu prób betonowych na ściskanie o markach zbliżonych do marek zaprojektowanych zapraw. Z tego względu, w niniejszej pracy dla potwierdzenia wyżej podanych uwag w tablicy 25 podano tylko wielkości modułu Yunga dla niektórych badanych prób zapraw.

Tablica 25

Moduły Yunga badanych zapraw

Nr badanej próbki zaprawy	Moduł Yunga zaprawy E kG/cm^2
I - 3 (1)	316.600
II - 3 (2)	328.400
III - 1 (3)	189.700
III - 2 (4)	248.300

2.2. Badania wytrzymałościowe cegieł, betonitów z których do badań wykonano mury (konstrukcje murowe) na nowych zaprawach

Do badań przeprowadzonych w ramach niniejszej pracy użyto cegły pojedynczej marki 250 i 350, cegły szybowej (podwójnej) oraz betonitów przywiezionych z Kopalni "Zofiówka". Przed przystąpieniem do ściskania murów zbadano najpierw wytrzymałość na ściskanie zarówno cegieł jak i betonitów. Badania te miały na celu ustalenie średniej wytrzymałości na ściskanie omawianych prefabrykatów.

Z cegły marki 250 wypiłowano kostki o wymiarze 6,5x6,5x6,5cm natomiast cegłę marki 350 rozpiłowano w poprzek na połówki, po czym zlepiono je zaprawą cementową o stosunku 1:1 z cemtntu 350 tak, aby ścianki powstałe z przecięcia były do siebie przeciwległe. Z cegły szybowej przygotowano kostki o wymia-

rach 12x12x12 cm. Przygotowując kostki z cegieł, które następnie poddano próbom na ściskanie oparto się na wnioskach z doświadczenia dra inż. A. Dziedziula, który w rezultacie przeprowadzonych badań stwierdził, że wyniki ściskania brył złożonych z dwóch połówek cegły na zaprawie cementowej 1:1 (wg normy PN/B-12001) i kostek wypiłowanych z cegieł są wytrzymałościowo sobie bliskie. Powyższe dało możność ustalenia wytrzymałości na ściskanie użytych cegieł do badanych murów. Wyniki uzyskane ze ściskania cegieł są następujące:

	marka 250	marka 350
1	305,8 kG/cm^2	427,35 kG/cm^2
2	278,0 "	443,35 "
3	347,5 "	386,65 "
4	305,8 "	366,3 "
5	278,0 "	386,65 "
średnio	303 kG/cm^2	402,1 kG/cm^2

Tablica 26

Wytrzymałość ściskanych kostek z cegły podwójnej

Lp.	Rodzaj badanej próbki	Wytrzymałość na ściskanie kG/cm^2
1	Cegła szybowa	179,34
2	" "	187,88
3	" "	183,61
4	" "	180,00

Wyniki uzyskane ze ściskania kostek cegły szybowej zestawiono w tablicy 26. Do obliczeń wytrzymałościowych przyjęto dla cegły półklinkierowej marki 250 wytrzymałość uzyskaną z badań wynoszącą 303 kG/cm^2. Podobnie postąpiono z cegłą klinkierową marki 350, której minimalna wytrzymałość na ściskanie wynosi 350 kG/cm^2, a z badań 402 kG/cm^2; dla betonitów ściskanych w całości w prasie hydraulicznej przyjęto 200 kG/cm^2 jako średnią arytmetyczną z badań.

2.3. Badania wytrzymałościowe murów ceglanych i betonitowych wykonanych na nowych zaprawach

Wytrzymałość murów obok wykonawstwa zależy od wytrzymałości prefabrykatów tj. cegieł, betonitów oraz zaprawy. Ponieważ jednak wytrzymałość zapraw zwiększa się z czasem, obrachunkową wytrzymałością murów jest wytrzymałość po 28 dniach. W celu zbadania wytrzymałości murów wykonano szereg układów muru, w których cegły marki 250 i 350, cegły szybowe oraz betonity spajano zaprawami o cechach wytrzymałościowych opisanych w punkcie 2.1.2.

Układy cegieł pojedynczych (rys. 27) podwójnych (rys. 28), betonitów (rys. 29), które poddano badaniom są najczęstszymi układami stosowanymi w budownictwie podziemnym kopalń - przy wykonywaniu wyrobisk górniczych jak np. na (rys. 1, 3, 11, 12, 13).

Mając powyższe na uwadze, badaniom poddano odcinki obudowy murowej wyrobisk górniczych o grubości ścianki równej 1 cegle i szerokości 1:2 cegieł.

Zakładając, że na obudowę działa głównie ciśnienie pionowe górotworu i że dobre jest powiązanie obudowy z górotworem (uzyskiwane przez wykonywanie między ściankami obudowy, a ociosami wyrobiska podsadzki skalnej zalewanej zaprawą cementową używaną do obudowy) to przy stosunkowo małych wysokościach wykonywanych wyrobisk, wyboczenie murów obudowy będzie niewielkie. Założenie to umożliwiło przeprowadzenie badań murów obudowy o mniejszych wysokościach. Należy pamiętać również o tym, że odcinki murów poddane badaniu pracują w gorszych warunkach niż w rzeczywistości, gdzie są związane z przylegającym do nich z obydwu stron prostymi, względnie krzywymi murami ciągłymi (rys. 1, 2, 3, 4, 11).

Przygotowane mury różniące się między sobą układem prefabrykatów, własnościami zapraw sporządzonych z cementu marki 350, 400, 450 o stosunkach 1:2, 1:3, 1:4 (tablice 15, 16, 17) po okresie twardnienia trwającym 28-35 dni poddano ściskaniu w prasie hydraulicznej. Równocześnie z badaniem wytrzymałości murów na ściskanie przy pomocy płytek przekaźnikowych oraz czujników - zamocowanych na słupach prasy - śledzono odkształcenia poziome i pionowe murów w czasie ściskania.

Podczas pomiarów wytrzymałości murów na ściskanie szczególną uwagę zwrócono na następujące trzy fazy obciążenia tj. 1) przy którym pojawiały się pierwsze trzaski; 2) przy którym pojawiały się pierwsze rysy i pęknięcia; 3) przy którym na-

Rys. 27. Wiązania cegieł pojedynczych w obudowie wyrobisk górniczych

Rys. 28. Wiązania cegieł podwójnych w obudowie wyrobósk górniczych

Rys. 29. Wiązania betonitów w obudowie wyrobisk górniczych o grubości obudowy równej jednemu betonitowi

stępowało całkowite zniszczenie muru. Mierzone odkształcenia murów przy ściskaniu posłużyły do sporządzenia w postaci wykresów zależności odkształceń od naprężeń.

2.3.1. Kształtowanie się wytrzymałości murów z cegły pojedynczej (przy układach cegieł jak na rys. 15 i 27) - wykonanych na zaprawach projektu autora

Wpływ marki zaprawy na kształtowanie się wytrzymałości obudowy murowej wyrobisk górniczych zbadano stosując w murach przy różnych ułożeniach cegieł i zapraw wyższych marek - opisanych w rozdziale 2.1.2. Wytrzymałość na ściskanie jednej serii badanych murów wykonanych z cegieł marki 250 i 350, w których zastosowano nowe zaprawy przy użyciu cementu portlandzkiego 350, 400, 450 dla układu cegieł jak na (rys. 27) można prześledzić w oparciu o wyniki badań podane w tablicach 27, 28, 29, 30, 31. Z wyników badań jednej serii murów podanych w tablicach 27-31 uwidacznia się sugerowany we wstępie pracy przez autora korzystny wpływ zapraw wyższych marek stosowanych przy wykonywaniu tych murów. Stosowanie w obudowie murowej zapraw o wytrzymałości zbliżonej do wytrzymałości cegieł jest więc bardzo celowe.

W przypadku badań przeprowadzonych przez autora w laboratorium Katedry Budownictwa Podziemnego Kopalń wytrzymałość murów (rys. 27) wykonanych z cegieł marki 250 i 350 w stosunku do wytrzymałości normowej (R_m^n) tj. obliczonej wzorem Oniszczyka podniosła się średnio o około 60%. Rzutuje to na korzyści ekonomiczne, które przemawiają za stosowaniem w górnictwie obudowy murowej na zaprawach wyższych marek - zarzucając stosowane w konstrukcjach podziemnych zaprawy marki 80. Średnie wartości wytrzymałości z trzech badanych serii murów (rys. 15, 27) podano w tablicach 32, 33, 34, 35, 36, 37.

Badane mury na ściskanie przy obciążeniu osiowym, sukcesywnie narastającym ulegały pękaniu, a następnie deformacjom trwałym. Sposób deformacji niektórych badanych murów dla układów cegieł jak na (rys. 15e, 15f, 15c) obrazują (rys. 30, 31, 32). W zależności od zastosowanej marki zaprawy przy deformacji badanych murów wywołanych obciążeniem na nie działającym, obserwowano niszczenie najpierw struktury zaprawy, a przy dalej narastającym obciążeniu również struktury cegieł, przy zaprawach niższych marek niż marka cegły. Przy zastosowaniu w murach zaprawy wyższych marek aniżeli marka cegły zjawisko

Tablica 27

Wytrzymałość murów obciążonych osiowo
wykonanych z cegły marki 250, zaprawy na cemencie portlandzkim marki 350

Mur pokazany na rys.	N-ajmn. pow.noś. cm^2	Obciążenie muru wywołujące kG/cm^2			Zaprawy		Wytrzymałość muru kG/cm^2	
		trzaski	rysy	zniszcz.	stos. C:p	R z kG/cm^2	z bad. R_m	z norm R_m^n
15a	300	61,5	82,0	123,0	1:4	165,0	123,0	64,88
15b	625	59,1	78,8	118,2	1:4	165,0	118,20	64,88
15c	725	51,0	119,0	153,0	1:4	165,0	153,0	64,88
15d	625	49,25	78,8	108,35	1:4	165,0	153,0	64,88
15e	725	59,5	76,5	119,0	1:4	165,0	119,0	64,88
15f	450	54,8	68,5	82,2	1:4	165,0	82,2	64,88
15a	300	82,0	102,5	123,0	1:3	190,0	123,0	67,07
15b	625	49,25	78,80	108,35	1:3	190,0	108,35	67,07
15c	725	34,0	59,5	76,5	1:3	190,0	76,5	67,07
15d	625	68,95	98,5	137,9	1:3	190,0	137,9	67,07
15e	725	59,5	85,0	127,5	1:3	190,0	127,5	67,07
15f	450	41,1	68,5	82,2	1:3	190,0	82,2	67,07
15a	300	61,5	102,5	123,0	1:2	189,0	123,0	66,96
15b	625	49,25	59,1	78,8	1:2	189,0	78,8	66,96
15c	725	51,0	102,0	153,0	1:2	189,0	153,0	66,95
15d	625	29,5	59,1	78,8	1:2	189,0	78,8	66,96
15e	725	59,5	85,0	102,0	1:2	189,0	102,5	66,96
15f	450	41,1	82,2	123,3	1:2	189,0	123,3	66,96

Wytrzymałość murów obciążonych osiowo wykonanych z cegły marki 350, zaprawy na cemencie portlandzkim marki 350

Mur pokazany na rys.	Najmn. pow.noś. cm^2	Obciążenie muru wywołujące kG/cm^2			Zaprawy		Wytrzymałość muru kG/cm^2	
		trzaski	rysy	niszcz.	stos. C:p	Rz kG/cm^2	z bad. R_m	z norm R_m^n
15a	300	61,5	82,0	102,5	1:4	165,0	102,5	79,45
15b	625	59,1	88,65	118,2	1:4	165,0	118,2	79,45
15c	725	68,0	93,5	127,5	1:4	165,0	127,5	79,45
15d	625	39,4	88,65	147,75	1:4	165,0	147,75	79,45
15e	725	51,0	93,5	119,0	1:4	165,0	95,9	79,45
15f	450	54,8	68,5	95,9	1:4	165,0	95,9	79,45
15a	300	82,0	123,0	164,0	1:3	190,0	164,0	81,26
15b	625	59,1	98,5	187,15	1:3	190,0	187,15	81,26
15c	725	34,0	68,0	170,0	1:3	190,0	170,0	81,26
15d	625	68,95	98,5	137,9	1:3	190,0	170,0	81,26
15e	715	76,5	119,0	170,0	1:3	190,0	170,0	81,26
15f	450	54,8	68,5	95,9	1:3	190,0	95,5	81,26
15a	300	82,0	164,0	266,5	1:2	189,0	266,5	81,13
15b	625	78,8	118,2	197,2	1:2	189,0	197,0	81,13
15c	725	51,0	85,0	170,0	1:2	189,0	170,0	81,13
15d	625	39,4	88,65	108,35	1:2	189,0	108,35	81,13
15e	725	59,5	93,5	127,5	1:2	189,0	127,5	81,13
15f	450	54,8	109,6	150,7	1:2	189,0	150,7	81,13

Tablica 29

Wytrzymałość murów obciążonych osiowo wykonanych z cegły marki 250 i 350, zaprawa na cemencie portlandzkim marki 400

Mur pokazany na rys.	Najmn. pow.noś. cm^2	Obciążenia muru wywołujące kG/cm^2			Zaprawy		Wytrzymałość muru kG/cm^2	
		trzaski	rysy	zniszcz.	stos. C:p	R z kG/cm^2	z bad. R_m	z norm R_m^m
15a	300	82,0	102,5	123,5	1:2	215,0	123,0	84,15
15b	625	59,1	98,5	167,45	1:2	215,0	167,45	84,15
15c	725	68,0	110,5	144,5	1:2	215,0	144,5	84,15
15d	625	68,95	118,2	157,6	1:2	215,0	157,6	84,15
15e	725	59,5	85,0	136,0	1:2	215,0	136,0	84,15
15f	450	109,6	150,7	191,8	1:2	215,0	191,8	84,15
C E G Ł A 250					C E M E N T 400			
15a	300	82,0	143,5	185,5	1:2	215,0	185,5	68,78
15b	625	78,8	108,35	147,75	1:2	215,0	147,75	68,78
15c	725	51,0	68,0	110,5	1:2	215,0	110,5	68,78
15d	625	39,4	68,95	88,65	1:2	215,0	88,65	68,78
15e	725	59,5	85,0	110,5	1:2	215,0	110,5	68,78
15f	450	82,2	109,6	137,0	1:2	215,0	137,0	68,78

Wytrzymałość murów obciążonych osiowo - wykonanych z cegły marki 250, zaprawy na cemencie portlandzkim marki 450

Mur pokazany na rys.	Najmn. pow.noś. cm^2	Obciążenie muru wywołujące kG/cm^2			Zaprawy		Wytrzymałość muru kG/cm^2	
		trzaski	rysy	niszcz.	stos. C:p	R z kG/cm^2	z bad. R_m	z norm R_m^n
15b	625	59,1	88,65	128,05	1:4	210,0	128,05	68,4
15c	725	34,0	68,0	110,5	1:4	210,0	110,5	68,4
15d	625	68,95	108,35	148,75	1:4	210,0	147,75	68,4
15e	725	51,0	102,0	127,5	1:4	210,0	127,5	68,4
15f	450	54,8	68,5	82,2	1:4	210,0	82,2	68,4
15a	300	102,5	143,5	164,0	1:3	200,0	164,0	67,74
15b	625	39,4	68,95	95,50	1:3	200,0	95,5	67,74
15c	725	34,0	59,5	85,0	1:3	200,0	85,0	67,74
15d	625	39,4	59,10	78,8	1:3	200,0	78,8	67,74
15e	725	51,0	93,5	110,5	1:3	200,0	110,5	67,75
15f	450	82,2	109,6	137,0	1:3	200,0	137,0	67,75
15a	300	61,2	102,5	123,0	1:2	205,0	123,0	68,03
15b	625	88,65	128,05	197,0	1:2	205,0	197,05	68,03
15c	725	25,5	85,0	110,50	1:2	205,0	110,5	68,03
15d	625	68,95	98,5	128,05	1:2	105,0	128,05	68,03
15e	725	51,0	76,5	110,5	1:2	205,0	110,5	68,03
15f	450	41,1	54,8	82,2	1:2	205,0	82,2	68,03

Tablica 31

Wytrzymałość murów obciążonych osiowo, wykonanych z cegły marki 350, zaprawa na cemencie portlandzkim marki 450

Mur pokazany na rys.	Najmn. pow.noś. om^2	Obciążenie muru wywołujące kG/om^2			Zaprawy		Wytrzymałość murów kG/cm^2	
		trzaski	rysy	niszcz.	stos. C:p	Rz kG/om^2	z bad. R_m	z norm R_m^n
15a	300	82,0	102,5	123,0	1:4	210,0	129,0	83,77
15b	625	59,1	108,35	147,75	1:4	210,0	147,75	83,77
15c	725	51,0	93,5	144,5	1:4	210,0	144,5	83,77
15d	625	59,1	98,5	147,75	1:4	210,0	147,75	83,77
15e	125	68,0	110,5	144,5	1:4	210,0	144,5	83,77
15f	450	54,8	68,5	82,2	1:4	210,0	82,2	83,77
15a	300	82,0	102,5	143,5	1:3	200,0	143,5	82,64
15b	625	78,8	108,35	137,9	1:3	200,0	137,9	82,64
15c	725	42,5	93,5	127,5	1:3	200,0	127,5	82,64
15d	625	59,1	88,65	108,35	1:3	200,0	108,35	82,64
15e	725	68,0	93,5	119,0	1:3	200,0	119,0	82,64
15f	450	95,9	109,6	150,7	1:3	200,0	150,7	81,64
15a	300	102,5	143,5	185,5	1:2	205,0	185,5	83,15
15b	625	59,10	118,20	177,30	1:2	205,0	177,30	83,15
15c	725	42,5	76,5	119,0	1:2	205,0	119,0	83,15
15d	625	59,1	128,05	187,15	1:2	205,0	187,15	83,15
15e	727	68,0	102,0	161,5	1:2	205,0	161,5	83,15
15f	450	68,5	59,9	137,0	1:2	205,0	137,0	83,15

Wytrzymałość badanych murów (rys. 15a)
obciążonych osiowo wykonanych z cegieł marki 250 i 350
na zaprawie cementowej z cementu marki 350, 400 i 450

Nr serii badanych murów	Wytrzymałość na ściskanie kG/cm²		Wytrzymałość doraźna muru		Stosunek $\frac{R_m}{R_m^n}$	Wytrzymałość muru wyliczona wzorem autora kG/cm²
	cegły Rc	zaprawy Rz	z badań Rm kG/cm²	wg normy R_m^n kG/cm²		
m1	402	165	102,0	86	1,18	109
m2	402	165	110,2	86	1,38	109
m3	402	165	107,4	86	1,25	109
m1	402	190	124,4	89	1,39	122
m2	402	190	127,1	89	1,33	122
m3	402	190	128,5	89	1,35	122
m1	303	165	101,0	73	1,37	100,5
m1	303	190	119	75,5	1,58	113
m2	303	190	117	75,5	1,55	113
m1	402	215	123,1	92	1,34	130
m2	402	240	141,0	94	1,5	138
m1	402	210	129,0	91	1,44	129
m2	402	260	150	96	1,56	145
m1	402	200	143,5	89,5	1,6	125
m1	303	260	140	81	1,73	138
m1	303	250	136	80	1,7	136
m2	303	250	135	80	1,69	136

Tablica 33

Wytrzymałość trzech serii badanych murów o wiązaniu jak na (rys. 15b) obciążonych osiowo, wykonanych z cegieł marki 250 i 350 na zaprawie cementowej marki 350, 400 i 450

Nr serii badanych murów	Wytrzymałość na ściskanie kG/cm^2		Wytrzymałość doraźna muru		Stosunek $\frac{R_m}{R_m^n}$	Wytrzymałość muru wyliczona wzorem autora kG/cm^2
	cegły Rc	zaprawy Rz	z badań Rm kG/cm^2	wg norm R_m^n kG/cm^2		
m1	402	165	118,2	86	1,37	136
m2	402	165	118,0	86	1,37	136
m3	402	165	115,0	86	1,34	136
m1	402	190	136,5	89	1,52	159
m2	402	198	168,3	90	1,87	166
m1	303	165	108,35	73	1,49	105
m2	303	190	112,4	75,5	1,5	119
m1	402	215	167,4	92	1,81	182
m2	402	215	159,0	92	1,73	182
m1	303	215	141,7	77,5	1,83	129
m1	402	210	147,8	91	1,61	176
m2	402	210	144,1	91	1,59	176
m1	402	200	137,9	90,5	1,52	170
m2	402	200	136,0	90,5	1,51	170
m1	303	210	128,1	77	1,66	126
m2	303	210	126,1	77	1,64	126

Wytrzymałość trzech serii badanych murów o wiązaniu jak na (rys. 15c) obciążonych osiowo, wykonanych z cegieł marki 250 i 350 na zaprawie cementowej z cementu marki 350, 400 i 450

Nr serii badanych murów	Wytrzymałość na ściskanie kG/cm²		Wytrzymałość doraźna muru		Stosunek $\frac{R_m}{R_m^n}$	Wytrzymałość muru wyliczona wzorem autora kG/cm²
	cegły Rc	zaprawy Rz	z badań Rm kG/cm²	z norm. R_m^n kG/cm²		
m1	402	165	127,5	86	1,48	1 28
m2	402	165	126,1	86	1,47	1 28
m1	402	190	140,7	89	1,47	137
m2	402	190	139,0	89	1,45	137
m1	402	215	144,5	92	1,57	147
m2	402	215	147,0	92	1,6	147
m3	402	215	155,1	92	1,69	147
m1	402	210	144,0	91	1,59	144
m2	402	210	145,0	91	1,6	144
m1	402	200	137,5	90,5	1,52	142
m2	402	200	139,0	90,5	1,54	142
m3	402	200	131,0	90,5	1,45	142
m1	303	165	119,0	73	1,63	116
m2	303	165	118,0	73	1,62	116
m1	303	190	124,0	75,5	1,65	123
m2	303	190	124,0	75,5	1,65	123
m3	303	190	127,0	75,5	1,69	123
m1	303	215	134,5	77,5	1,73	130
m2	303	215	130,2	77,5	1,68	130
m3	303	215	136,0	77,5	1,76	130
m1	303	210	110,5	77,0	1,43	129
m2	303	210	133,0	77,0	1,73	129
m3	303	210	128,0	77,0	1,66	129

Tablica 35

Wytrzymałość trzech serii badanych murów o wiązaniu jak na (rys. 15d) obciążonych osiowo, wykonanych z cegieł marki 250 i 350 na zaprawie cementowej z cementu marki 350, 400 i 450

Nr serii badanych murów	Wytrzymałość na ściskanie kG/cm²		Wytrzymałość doraźna muru		Stosunek $\frac{R_m}{R_m^n}$	Wytrzymałość muru wyliczona wzorem autora kG/cm²
	cegły Rc	zaprawy Rz	z badań Rm kG/cm²	z norm. R_m^n kG/cm²		
m1	402	165	127,7	86	1,5	113
m2	402	165	125,1	86	1,46	113
m1	402	190	137,9	89	1,54	137
m2	402	190	134,1	89	1,52	137
m2	303	165	108,3	73	1,48	101
m3	303	190	127,9	75,5	1,7	119
m1	402	215	147,6	92	1,6	148
m2	402	250	188,3	95,5	1,96	170
m1	402	210	147,0	91	1,61	145
m2	402	210	141,8	91	1,56	145
m3	402	210	145,0	91	1,6	145
m1	402	200	128,3	90,5	1,42	130
m1	303	210	147,7	77	1,92	154
m2	303	210	134,5	77	1,75	154
m3	303	200	99,8	76,5	1,31	123

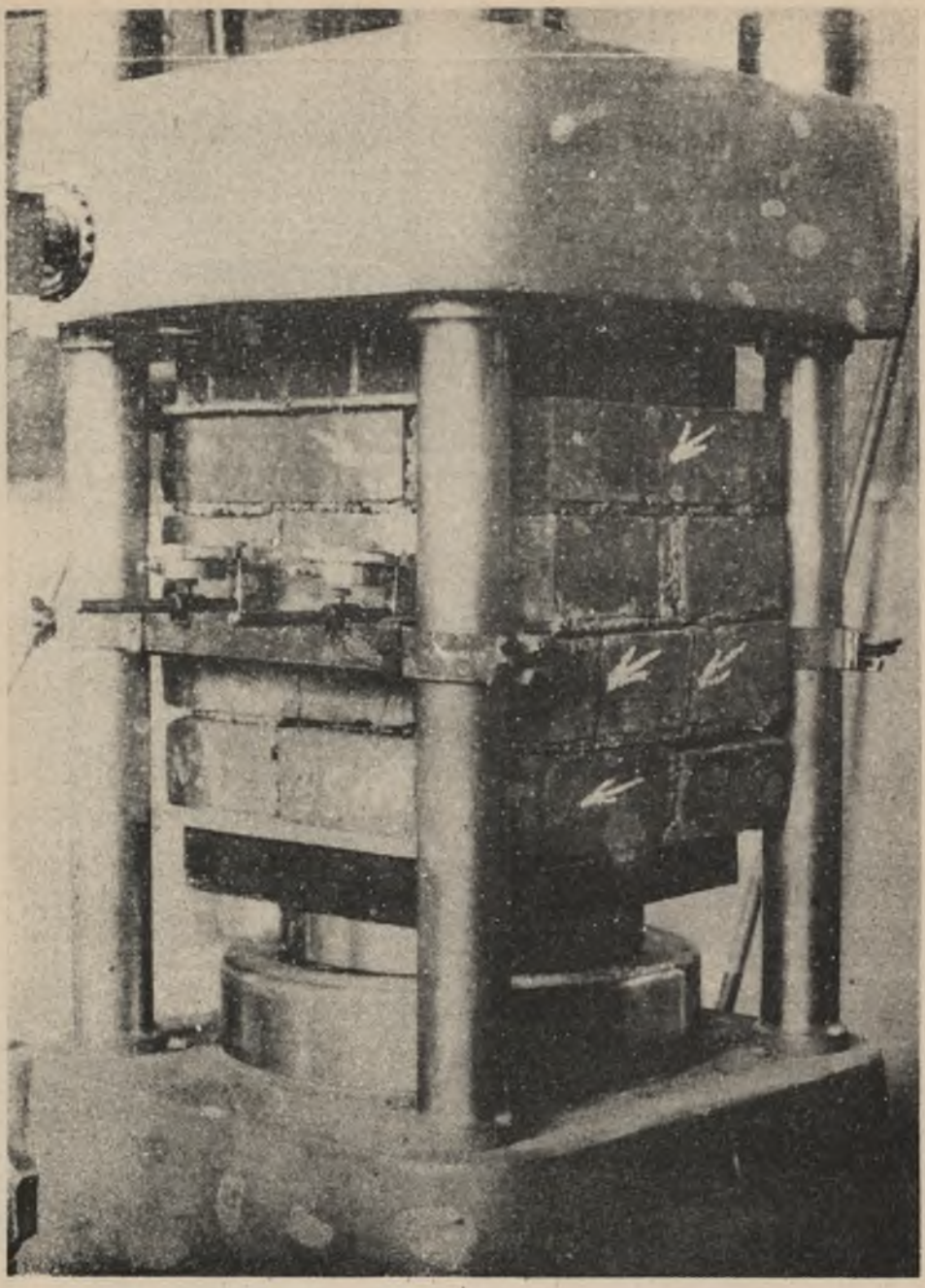
Wytrzymałość trzech serii badanych murów o wiązaniu jak na (rys. 15e) obciążonych osiowo, wykonanych z cegieł marki 250 i 350 na zaprawie cementowej z cementu marki 350, 400 i 450

Nr serii badanych murów	Wytrzymałość na ściskanie kG/cm^2		Wytrzymałość doraźna muru		Stosunek $\frac{R_m}{R_m^n}$	Wytrzymałość muru wyliczona wzorem autora
	cegły Rc	zaprawy Rz	z badań Rm kG/cm^2	z norm. R_m^n kG/cm^2		
m1	402	165	119,0	86	1,38	125
m2	402	165	125,0	86	1,45	125
m3	402	165	120,1	86	1,4	125
m1	402	198	170,0	90	1,89	150
m2	402	190	151,0	89	1,7	151
m1	402	215	136,1	92	1,48	161
m2	402	215	157,2	92	1,71	161
m3	402	215	160,0	92	1,74	161
m1	402	210	144,5	91	1,6	153
m2	402	210	150,1	91	1,67	153
m3	402	210	156,3	91	1,72	153
m1	303	165	119,0	73	1,63	106
m2	303	165	114,1	73	1,56	106
m3	303	165	116,1	73	1,59	106
m1	303	190	127,5	75,5	1,68	111
m2	303	190	127,0	75,5	1,67	111
m3	303	190	123,0	75,5	1,63	111
m1	303	215	110,5	77,5	1,43	119
m2	303	215	134,1	77,5	1,73	119
m3	303	215	127,9	77,5	1,66	119
m1	303	210	127,5	77	1,66	116
m2	303	210	126,1	77	1,64	116
m3	303	210	126,0	77	1,64	116

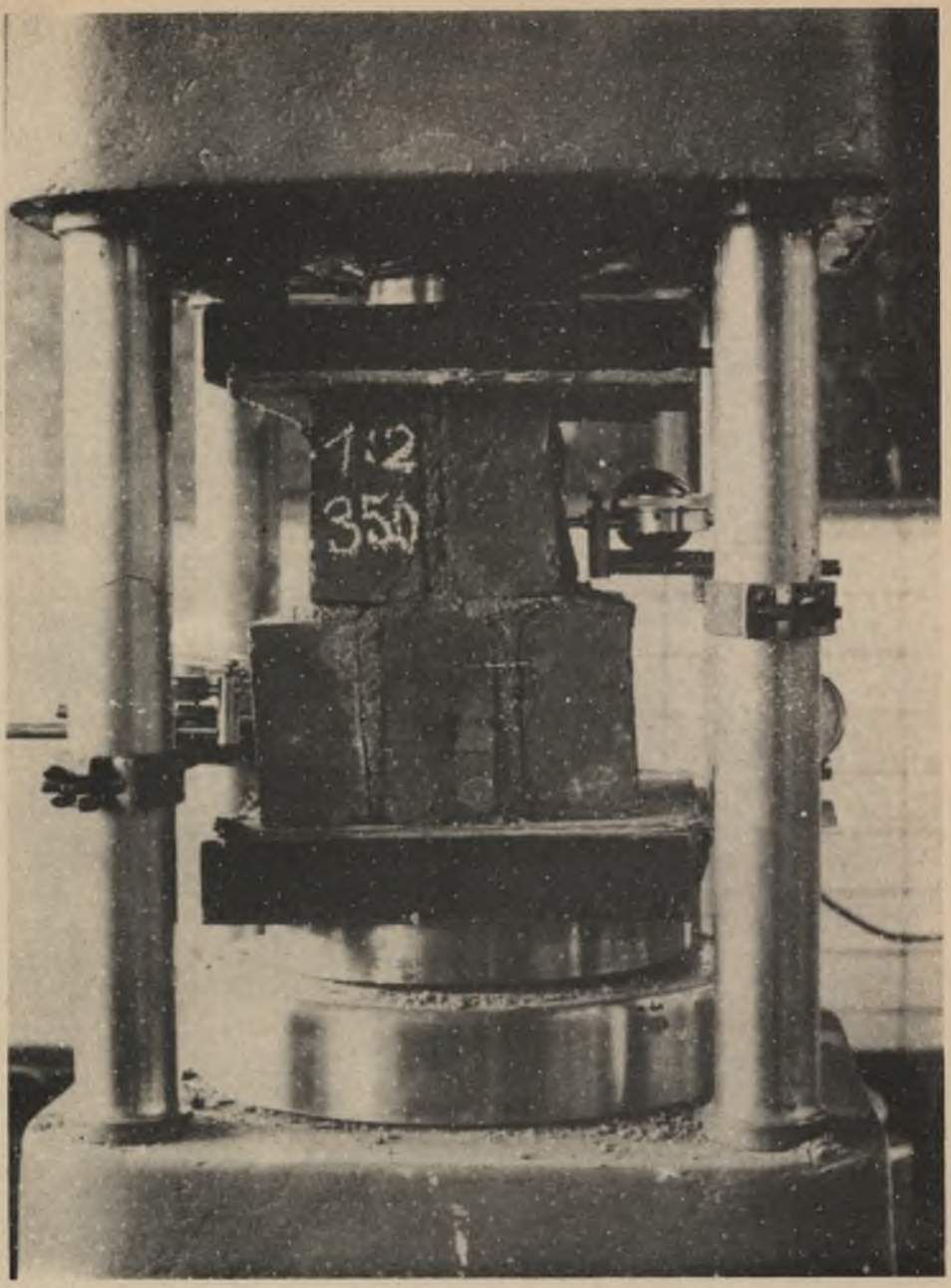
Tablica 37

Wytrzymałość trzech serii badanych murów o wiązaniu jak na (rys. 15f) obciążonych osiowo, wykonanych z cegieł marki 250 i 350 na zaprawie cementowej z cementu marki 350, 400 i 450

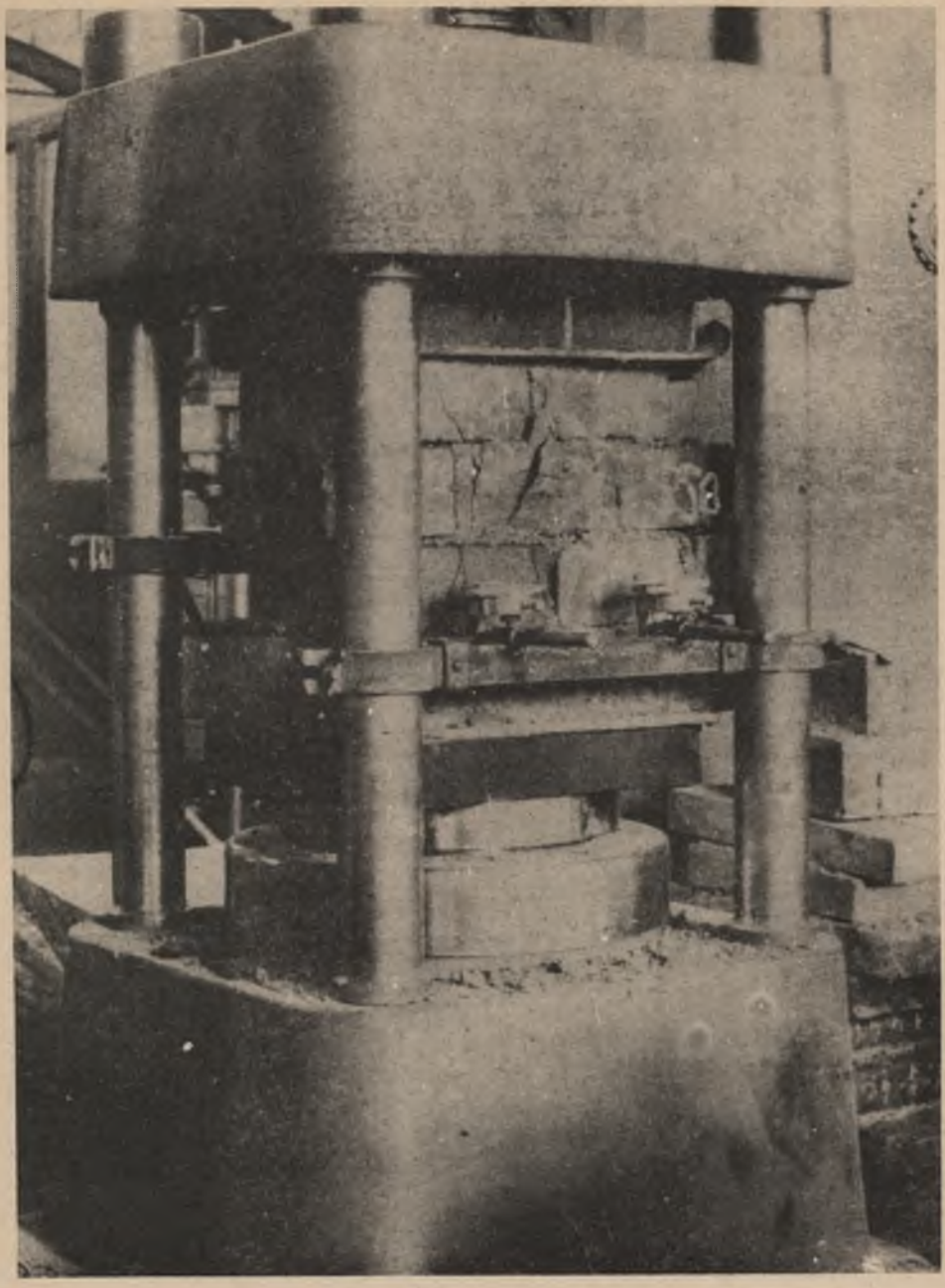
Nr serii badanych murów	Wytrzymałość na ściskanie kG/cm^2		Wytrzymałość doraźna muru		Stosunek $\frac{R_m}{R_m^n}$	Wytrzymałość muru wyliczona wzorem autora
	cegły Rc	zaprawy Rz	z badań Rm kG/cm^2	z norm. R_m^n kG/cm^2		
m1	402	165	95,9	86	1,12	91
m2	402	165	83,6	86	0,97	91
m3	402	165	85,1	86	0,99	91
m1	402	190	99,5	89	1,1	111
m2	402	190	119,1	89	1,34	111
m3	402	190	115,2	89	1,3	111
m1	303	165	82,2	73	1,13	76
m1	303	190	82,2	75,5	1,09	94
m2	303	190	91,7	75,5	1,21	94
m1	402	235	158,8	95	1,66	152
m2	402	215	120,1	92	1,3	141
m3	402	215	143,7	92	1,56	141
m1	303	215	134,0	77,5	1,73	141
m1	402	200	120,7	90,5	1,34	121
m2	402	200	114,3	90,5	1,26	121
m3	402	200	118	90,5	1,3	121
m1	303	235	141,0	80,0	1,76	128
m1	303	200	113,0	76	1,48	109
m2	303	200	109	76	1,44	109



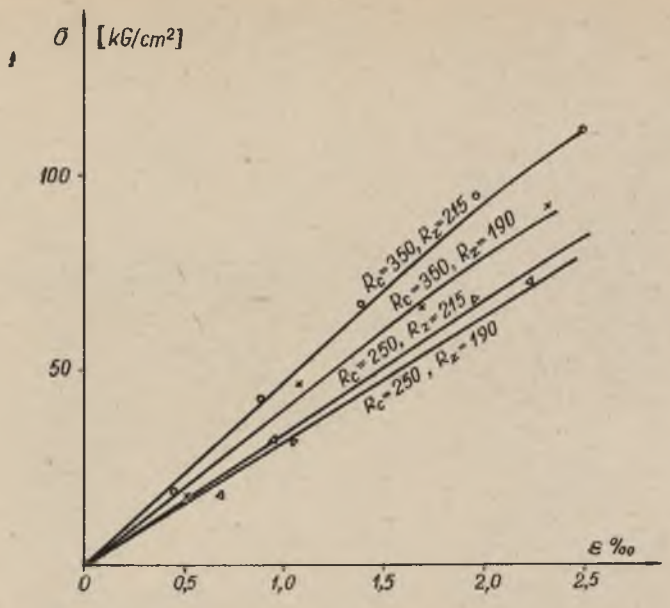
Rys. 30. Deformacje muru (rys. 15c) wykonanego z cegły marki 350 na zaprawie cementowej o stosunku 1:2, z cementu marki 400



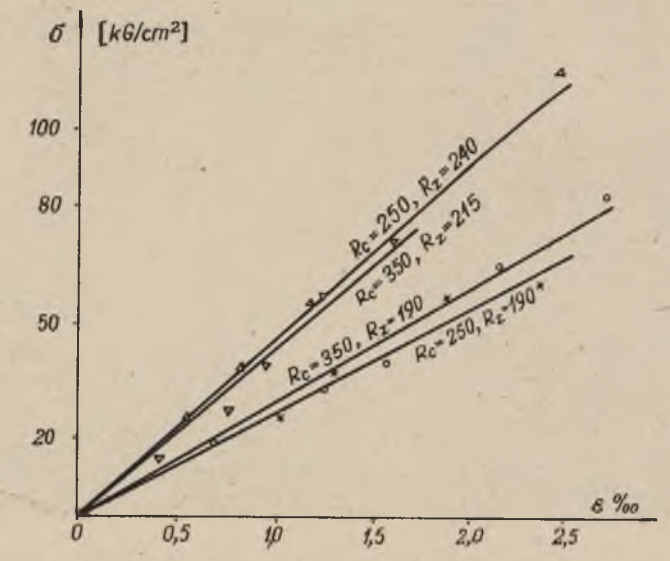
Rys. 31. Deformacje muru (rys. 15f) wykonanego z cegły marki 350 na zaprawie cementowej o stosunku cementu do kruszywa 1:2, z cementu portlandzkiego marki 400



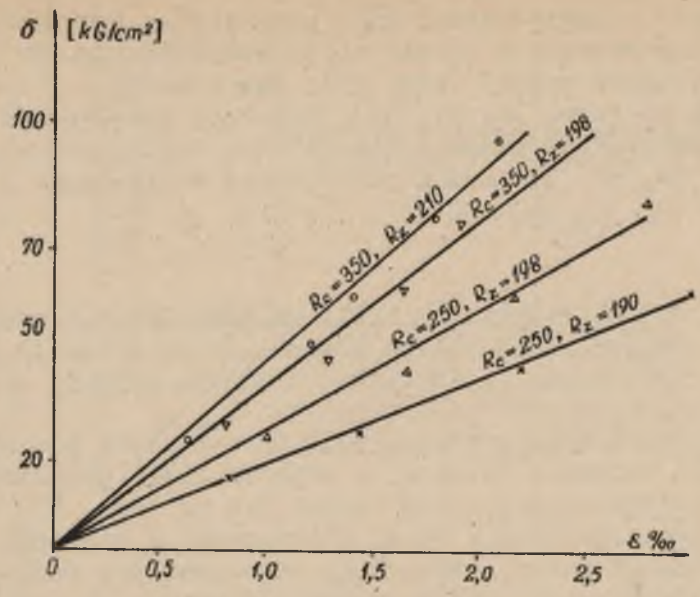
Rys. 32. Deformacje muru (rys. 15e) wykonanego z cegły marki 350 na zaprawie cementowej o stosunku cementu do kruszywa 1:2, z cementu portlandzkiego marki 400



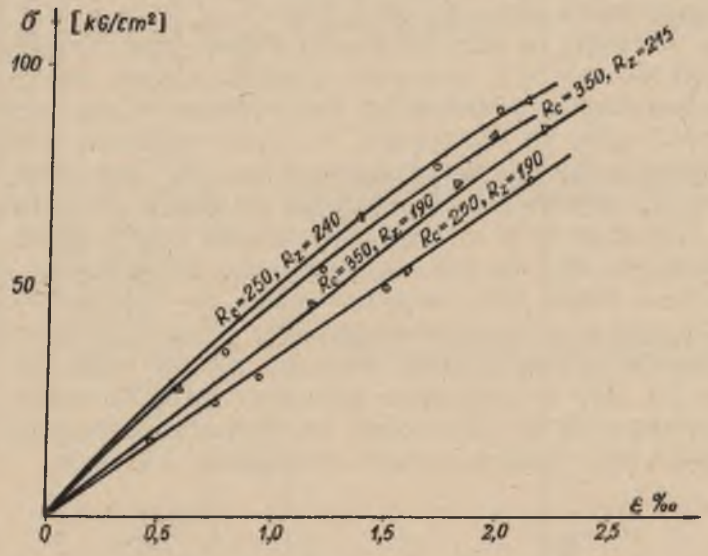
Rys. 33. Zależność odkształceń pionowych od naprężeń dla niektórych badanych murów i dla układu cegieł jak na (rys. 15c)



Rys. 34. Zależność odkształceń pionowych od naprężeń $\varepsilon(\sigma)$ dla niektórych badanych murów i dla układu cegieł jak na (rys. 15f)



Rys. 35. Zależność odkształceń pionowych od naprężeń $\varepsilon(\sigma)$ dla niektórych badanych murów i dla układu cegieł jak na (rys. 15a)



Rys. 36. Zależność odkształceń pionowych od naprężeń $\varepsilon(\sigma)$ dla niektórych badanych murów i dla układu cegieł jak na (rys. 15e)

(przy murach z cegieł marki 250) przebiegało odwrotnie. Zjawisko to obserwowano w czasie badań wszystkich murów przy różnych układach cegieł (rys. 15), jak również w przykładowo pokazanych na (rys. 30, 31, 32). Przebieg odkształceń pionowych dla niektórych murów i dla układów cegieł pokazanych na (rys. 30, 31, 32, 33) można prześledzić korzystając z wykresów (rys. 33, 34, 35, 36).

2.3.2. Kształtowanie się wytrzymałości murów z cegły podwójnej (dla układu cegieł jak na (rys. 16 i 28), wykonanych na zaprawach projektu autora

W celu określenia wytrzymałości muru z cegły podwójnej wykonanego na zaprawie opisanej w punkcie 2.1.2. poddano badaniu w prasie hydraulicznej układ cegieł jak na (rys. 16, 28). W czasie przeprowadzania badań obserwowano i mierzono przebieg deformacji murów, które były niezbędne dla późniejszego przeanalizowania ich cech wytrzymałościowych. Podobnie jak dla murów z cegieł pojedynczych badania obejmowały kilkanaście murów o różnych wiązaniach, co pozwoliło na szczegółową analizę matematyczną otrzymanych wyników. Wyniki z badań wytrzymałościowych murów z cegły podwójnej dla różnych marek zapraw podano w tablicach 38, 39.

Śledząc wartości z tablic 38, 39 łatwo jest stwierdzić, że na wytrzymałość murów w znacznym stopniu wpływa marka zaprawy. Można powiedzieć również iż dla uzyskania jak najwyższej wytrzymałości muru na ściskanie, co jest wskazane z uwagi na możność wykonywania cieńszej obudowy murowej wyrobisk górniczych - należy stosować marki zapraw zbliżone do marek prefabrykatów. Stosując przy wykonywaniu murów cegły marki 180, zaprawę marki od 165 do 168 uzyskuje się zwiększenie wytrzymałości muru o około 45%, zaprawy marki od 190 do 215 zwiększenie wytrzymałości muru o około 80%, a zaprawy marki 240 do 268 zwiększenie wytrzymałości muru od 100 do 160%. Na wykresach (rys. 37, 38) przykładowo pokazano kształtowanie się odkształceń pionowych w zależności od naprężeń panujących w badanych murach przy zmiennym ich obciążeniu osiowym.

Tablica 38

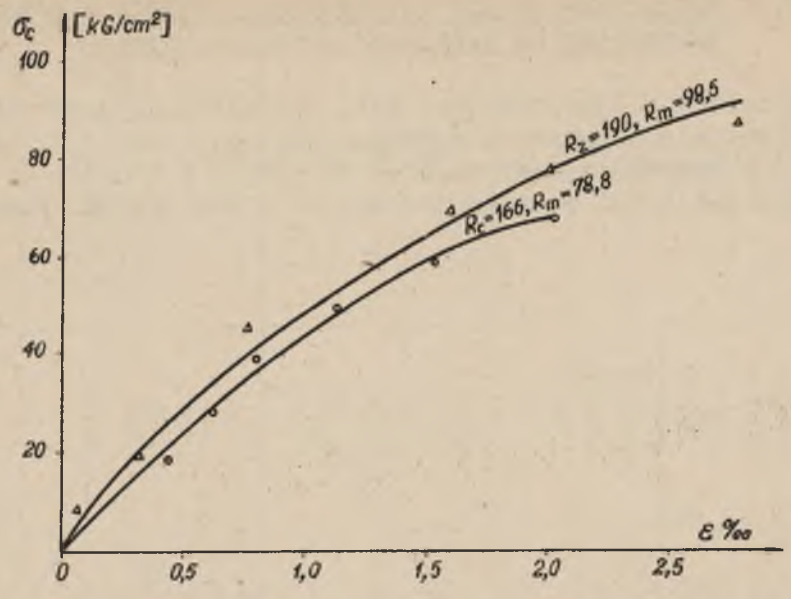
Wytrzymałość badanych murów o wiązaniu jak na (rys. 16a i 16b) obciążonych osiowo, wykonanych z cegieł podwójnych marki 180 na zaprawie cementowej marki 165 do 268

Konstr. badana jak na rys.	Wytrzymałość na ściskanie kG/cm²		Wytrzymałość doraźna muru		Stosunek $\frac{R_m}{R_m^n}$	Wytrzymałość muru wyliczona wzorem autora
	cegły Rc	zaprawy Rz	z badań Rm kG/cm²	z normy R_m^n kG/cm²		
16a	180	165	71,0	62	1,14	87
	180	168	108,0	63	1,71	90
	180	190	118,0	66,5	1,78	111
	180	200	119,9	67	1,78	118
	180	240	127,1	63	2,02	134
	180	200	94,7	67	1,42	118
	180	268	165,6	61,5	2,68	159
	180	168	91,0	63	1,45	90
	180	165	69,9	62	1,13	87
	180	198	121.0	66	1,84	115
16b	180	165	94,7	62	1,53	98
	180	190	118,3	66,5	1,79	122
	180	195	132,4	66,8	1,98	126
	180	195	128,0	66,8	1,92	126
	180	165	101,0	62	1,63	98
	180	150	89,0	68	1,31	85
	180	150	84,0	68	1,24	85
	180	165	90,1	62	1,46	98
	180	168	96,5	63	1,54	103

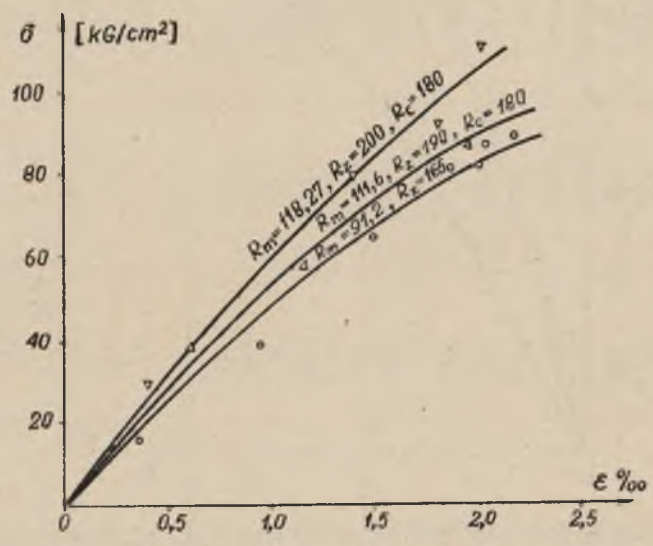
Tablica 39

Wytrzymałość badanych murów o wiązaniu jak na (rys. 16c i 16d) obciążonych osiowo, wykonanych z cegieł marki 180, na zaprawie cementowej marki 165 do 215

Konstr. badana jak na rys.	Wytrzymałość na ściskanie kG/cm²		Wytrzymałość doraźna muru		Stosunek $\frac{R_m}{R_m^n}$	Wytrzymałość muru wyliczona wzorem autora
	cegły Rc	zaprawy Rz	z badań Rm kG/cm²	z normy R_m^n kG/cm²		
16c	180	165	78,8	62	1,27	83
	180	168	88,5	63	1,404	86
	180	160	76,3	61	1,25	78
	180	160	76,6	61	1,255	78
	180	190	101,1	66,5	1,52	99
	180	207	108,3	65,5	1,628	113
	180	215	118,1	66	1,789	117
16d	180	165	91,2	62	1,470	95
	180	168	96,5	63	1,531	97
	180	190	111,6	66,5	1,67	106
	180	200	108,6	67	1,62	108
	180	210	109,5	65	1,68	111
	180	165	90,5	62	1,459	95
	180	190	110,9	66,5	1,66	106
	180	168	93,2	63	1,47	97



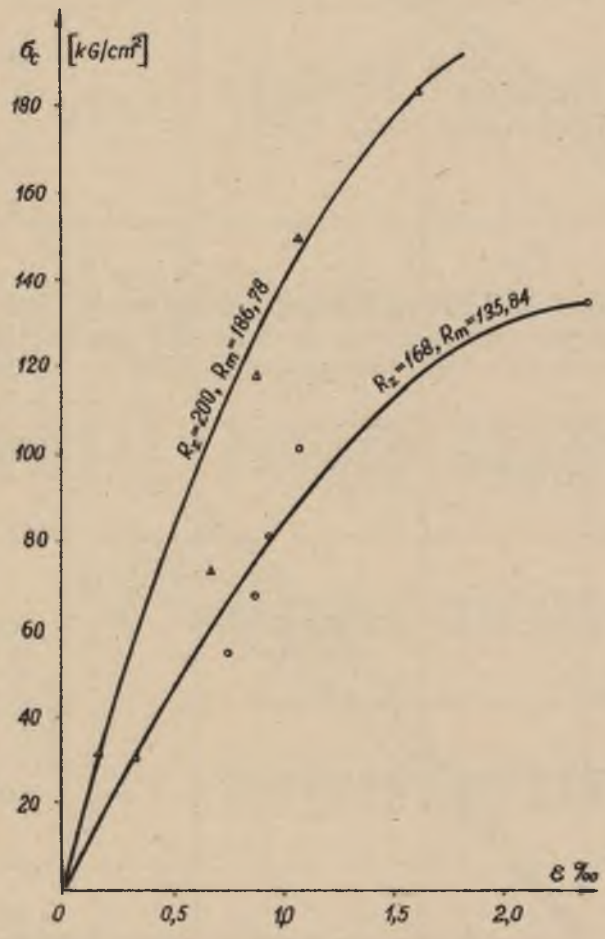
Rys. 37. Zależność odkształceń pionowych od naprężeń $\varepsilon(\sigma)$ dla niektórych badanych murów z cegieł marki 180 dla układu jak na (rys. 16c)



Rys. 38. Zależność odkształceń pionowych od naprężeń $\varepsilon(\sigma)$ dla niektórych badanych murów i dla układu cegieł jak na (rys. 16d)

2.3.3. Kształtowanie się wytrzymałości układów z betonitów wykonanych na zaprawach projektu autora

Przy ustaleniu wytrzymałości muru betonitowego posłużono się wynikami jakie uzyskano z badanych układów betonitów, które spajano zaprawami wyższych marek opisanych w punkcie 2.1.2. Uzyskane wielkości z badań zestawiono w tablicy 40. Stosując



Rys. 39. Zależność odkształceń pionowych od naprężeń $\varepsilon(\sigma)$ dla niektórych badanych murów i dla układu betonitów jak na (rys. 17a)

Wytrzymałość badanych układów muru z betonitów obciążonych osiowo pokazanych na (rys. 17a i 17b)

Konstr. badana jak na rys.	Wytrzymałość na ściskanie kG/cm²		Wytrzymałość doraźna muru		Stosunek $\frac{R_m}{R_m^n}$	Wytrzymałość muru wyliczona wzorem autora
	cegły Rc	zaprawy Rz	z badań Rm kG/cm²	z normy R_m^n kG/cm²		
17a	200	168	135,84	66	2,05	138
	200	200	186,78	68	2,74	184
	200	207	188,2	70	2,68	173
	200	200	181,0	68	2,66	185
	200	198	179,8	68	2,64	184
	200	198	171,2	68	2,52	184
	200	198	179,0	68	2,63	184
17b	200	198	147,9	68	2,18	152
	200	198	151,0	68	2,22	152
	200	168	123,5	66	1,87	122,5
	200	207	169,9	70	2,43	161
	200	200	161,7	68	2,38	157
	200	210	154,4	71	2,17	154
	200	166	117,8	65,5	1,8	121
	200	200	159,0	68	2,34	157

więc w murach betonitowych zaprawy opisane w pracy tj. rzędu od 160 do 210 uzyskuje się zwiększenie wytrzymałości muru w stosunku do wytrzymałości muru wykonanego na zaprawie marki 80 o około 140%. Świadczy to o celowości stosowania w obudowie betonitowej zapraw wyższych marek. Przebieg odkształceń pionowych w zależności od naprężeń dla niektórych badanych układów pokazano na (rys. 39). Na podstawie otrzymanych wyników podobnie jak w dwóch punktach poprzednich można stwierdzić, że i tu uwidocznił się w dużym stopniu korzystny wpływ marki zaprawy na wytrzymałość muru z betonitów.

2.4. Analiza matematyczna wyników uzyskanych z badań

Wytrzymałość zapraw i murów miarodajną do obliczeń stosowanych w budownictwie podziemnym i naziemnym ustala się na podstawie badań laboratoryjnych próbek lub murów o określonych wymiarach, a także na drodze teoretycznej przy pomocy wzorów. Przeprowadzając analizę matematyczną otrzymanych wyników z badań laboratoryjnych, autor podejmuje próbę ustalenia wzoru, który w przybliżeniu pozwoli ustalić wytrzymałość obudowy murowej wykonanej na zaprawach wyższych marek. Stosowanie bowiem dotychczasowych wzorów do określania wytrzymałości murów wykonywanych na zaprawie projektu autora daje dużą rozbieżność wielkości teoretycznych i laboratoryjnych. Przeprowadzone badania wykazały, że wpływ marki zaprawy na wytrzymałość murów z prefabrykatów jest duży i uzależniony od sposobu ułożenia i marki prefabrykatów. Mając to na względzie poniżej zostanie przeanalizowany każdy rodzaj wiązania badanych murów wykonanych na zaprawach poprzednio opisanych. Analizę matematyczną wyników badań w oparciu, o którą wyprowadzono wzory teoretyczne, przeprowadzono wykorzystując w tym celu rachunek statystyczny.

2.4.1. Analiza wyników badań murów z cegły pojedynczej - pokazanych na rys. 15a

Badania przeprowadzono dla średniej wytrzymałości cegły na ściskanie wynoszącej 303 i 402 kG/cm^2. Różnice wytrzymałości muru zależą w tym przypadku głównie od wytrzymałości zaprawy na ściskanie. Wykorzystując częściowo wzór (2) i opierając się na wynikach własnych badań podjęto próbę ustalenia zależności

między wartościami wytrzymałościowymi cegły, zaprawy i muru. W tym celu pierwszą część wzoru uzależniającą wytrzymałość muru od wytrzymałości cegły oznaczono przez A. W przypadku cegieł o jednakowej wytrzymałości (co miało miejsce w czasie badań) wartość A jest constans.

2.4.1.1. Mury z cegły półklinkierowej

Wytrzymałość muru Rm oznaczono przez y uzależniając ją od zmiennej wartości x, która wynosi:

$$x = \frac{0,2}{0,3 + \frac{Rz}{2Rc}} \qquad (12)$$

otrzymamy wówczas równanie:

$$y = A\,(1 - x) \qquad (13)$$

gdzie:

$$A = Rc\,\left(\frac{100 + Rc}{100 + 3,3\,Rc}\right)$$

W przypadku cegły o wytrzymałości Rc = 303 kG/cm^2, A = 111,8.

Wzór (13) przedstawia równanie linii prostej. W celu wyprowadzenia wzoru na wytrzymałość doraźną muru należy znaleźć dla tego równania zależność korelacyjną między zmiennymi x i y - w świetle uzyskanych wyników z badań wytrzymałościowych sześciu murów wykonanych na różnych zaprawach. W tablicy 41 zestawiono potrzebne wielkości dla znalezienia współczynnika korelacji ξ. Wartości x_o i y_o wynoszą:

$$x_o = \frac{\sum x_i}{n} = 0,3008 \qquad (14)$$

$$y_o = \frac{\sum y_i}{n} = 124,66 \qquad (15)$$

Tablica 41

Wielkości potrzebne do obliczenia współczynnika korelacji

x_i	y_i	x_i-x_o	y_i-y_o	$(x_i-x_o)^2$	$(y_i-y_o)^2$	$(x_i-x_o)(y_i-y_o)$
0,3496	101	0,048	- 23,66	0,0023	559,79	- 1,1546
0,3096	119	0,008	- 5,66	0,0001	32,035	- 0,0498
0,3096	117	0,008	- 7,7	0,0001	58,575	- 0,0651
0,2743	140	- 0,026	15,34	0,0007	235,315	- 0,4080
0,2809	136	- 0,019	11,34	0,0004	128,595	- 0,2256
0,2809	135	- 0,019	10,34	0,0004	106,915	- 0,2057
$\sum$=1,8049	748	0	0	0,004	1121,225	2,1088

Współczynnik korelacji będzie

$$\xi = \frac{\sum(x_i - x_o)(y_i - y_o)}{\sqrt{\sum(x_i - x_o)^2 \sum(y_i - y_o)^2}} \qquad (16)$$

$$\xi = \frac{-2,1088}{\sqrt{0,004 \cdot 1121,225}} = -0,99$$

Współczynnik regresji określa wzór

$$R = \xi \frac{\sigma_y}{\sigma_x} = -0,99 \sqrt{\frac{1121,225}{0,004}} = -523,71 \qquad (17)$$

Równanie prostej regresji posiada postać:

$$y - y_o = R(x - x_o) \qquad (18)$$

Po wstawieniu wartości za x_o i y_o równanie (18) przyjmie postać:

$$y - 124,66 = -523,71 (x - 0,3008)$$

Skąd

$$y = 282,19 - 523,71 x$$

$$y = 282,19 (1 - 1,86 x) \qquad (19)$$

Prawdopodobny błąd współczynnika korelacji określony za pomocą wzoru (20) podanego w pracy [57] posiada postać

$$e_\xi = \pm 0,67 \frac{1-\xi^2}{\sqrt{n}} \qquad (20)$$

$$e_\xi = \pm 0,67 \frac{1 - 0,99^2}{\sqrt{6}} = \pm 0,0059$$

Z powyższego wynika, że między zmiennymi y i x istnieje ścisła zależność a popełniany błąd wynosi 0,59%. W ten sposób wytrzymałość muru wyniesie

$$Rm = \frac{282,19}{111,8} Rc \frac{100 + Rc}{100 + 3,3\,Rc} \left(1 - \frac{0,2 \cdot 1,86}{0,3 + \frac{Rz}{2Rc}}\right)$$

Skąd wzór na obliczanie doraźnej wytrzymałości muru wykonanego z cegły półklinkierowej na zaprawach wyższych marek przybierze postać

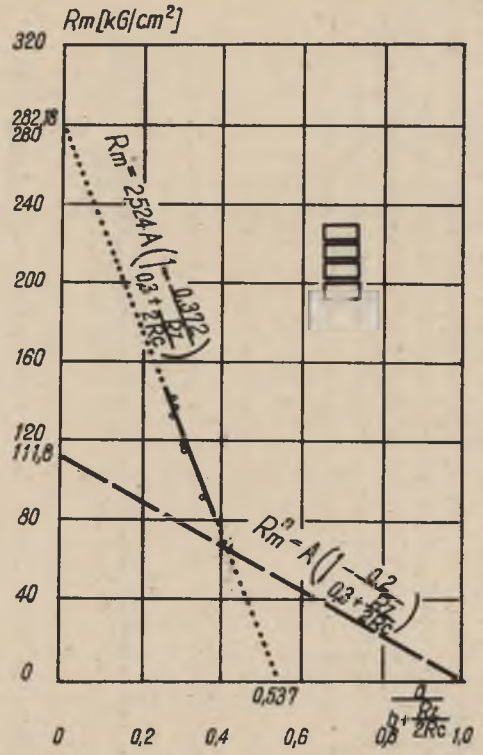
$$Rm = 2,524\,Rc \frac{100 + Rc}{100 + 3,3\,Rc} \left(1 - \frac{0,372}{0,3 + \frac{Rz}{2Rc}}\right) \qquad (21)$$

Przedstawiając graficznie wzory (21 i 2) otrzymano wykres (rys. 40). Na (rys. 40) naniesiono również wielkości wytrzymałości muru Rm uzyskane z badań. Analizując wzór normowy dostrzegamy, że wytrzymałość muru zależy przede wszystkim od wytrzymałości cegły. Uwidacznia się to szczególnie wyraźnie w przypadku podstawienia do wzoru ekstremalnych wartości teoretycznych wytrzymałości cegły Rc i wytrzymałości zaprawy Rz. Porównanie ze sobą tych wartości uzyskanych ze wzoru normowego i podanego w pracy przedstawiono w tablicy 42.

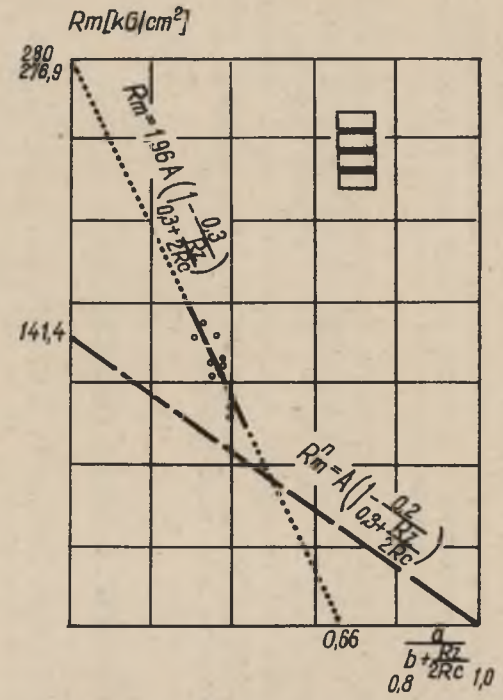
Tablica 42

Ekstremalne wartości teoretyczne Rm i R_m^n

Wytrzymałość muru według wzoru	Dla Rc		Dla Rz	
	0	∞	0	∞
Normowego R_m^n	0	∞	38,01	111,8
Autora R_m	0	∞	67,8	282,19



Rys. 40. Wykres zależności między wartościami wytrzymałościowymi cegły, zaprawy i muru obudowy dla układu cegieł pojedynczych jak nad wykresem - przy obciążeniu osiowym



Rys. 41. Wykres zależności między wartościami wytrzymałościowymi cegły, zaprawy i muru obudowy dla układu cegieł pojedynczych jak nad wykresem - przy obciążeniu osiowym

Z tablicy 42 wynikają następujące ogólne wnioski:

1) przy wzroście wytrzymałości cegły Rc od 0 do ∞ wytrzymałość muru Rm rośnie również od 0 do ∞.

2) przy stałej wytrzymałości cegły (w rozpatrywanym przypadku Rc = 303 kG/cm^2) i przy wytrzymałości zaprawy rosnącej od 0 do ∞ różnice wytrzymałości muru wyliczone wzorem normowym i autora wahają się w znacznie szczuplejszych granicach.

Analizując wyniki otrzymane ze wzoru (2) oraz wzoru (21) widzimy, że przy średniej wytrzymałości cegły i przy Rz zmieniającej się od 0 do ∞, wzór autora daje wyraźnie większą różnicę skrajnych wytrzymałości muru. Pozwala to na dalsze wykorzystanie cegieł w murze przy jeszcze wyższych markach zapraw niż zastosowano w badaniach.

2.4.1.2. Mury z cegły klinkierowej

Badania przeprowadzono przy średniej wytrzymałości cegły na ściskanie wynoszącej Rc = 402 kG/cm^2. Z tablicy 32 widać, że wytrzymałość badanych murów wykonanych na zaprawach wyższych marek jest wyższa od wytrzymałości normowych o około 40%. Pragnąc więc znaleźć odpowiednią ogólną zależność wytrzymałościową dla zbadanych murów należy wzór normowy poprawić, opierając się na uzyskanych wynikach wytrzymałościowych jedenastu murów wykonanych na różnych rodzajach zapraw. Wychodząc z równania linii prostej określonej relacją (13)

$$y = A\,(1 - x) \qquad (13)$$

w której

$$A = Rc\,\frac{100 + Rc}{100 + 3{,}3\,Rc} = 402\,\frac{100 + 402}{100 + 3{,}3 \cdot 402} = 141{,}4 \qquad (22)$$

y - wytrzymałość muru Rm osiągnięta w badaniach,

x - wartość zmienna określona wzorem (12),

należy znaleźć wartość korelacyjną. W tablicy 43 podano wielkości potrzebne do znalezienia współczynnika korelacji ξ.

Tablica 43

Wielkości potrzebne do obliczenia współczynnika korelacji

x_i	y_i	x_i-x_o	y_i-y_o	$(x_i-x_o)^2$	$(y_i-y_o)^2$	$(x_i-x_o)(y_i-y_o)$
0,3960	102,0	0,0321	- 24,0	0,0010	575,0	- 0,7704
0,3960	110,1	0,0321	- 15,9	0,001	252,8	- 0,5136
0,3960	107,4	0,0321	- 18,6	0,001	346,0	- 0,5970
0,3731	124,4	0,0092	- 1,6	0,000085	2,56	- 0,0138
0,3731	127,1	0,0092	1,1	0,000085	1,21	0,0101
0,3731	128,5	0,0092	2,5	0,000085	6,25	0,0230
0,3528	123,1	- 0,0111	- 2,9	0,00012	8,41	0,0322
0,2985	141,0	- 0,0654	15,0	0,0042	225,0	- 0,9810
0,3560	129,0	- 0,0079	3,0	0,00005	9,0	- 0,0237
0,3233	150	- 0,04	24,0	0,0016	576,0	- 0,9744
0,3644	143,5	0,0005	17,4	0,0000002	306,2	0,0087
Σ 4,0034	1386,1	0	0	0,0093	2309,4	- 3,7999

Korzystając z wielkości podanych w tablicy 43 można ustalić wartości x_o i y_o.

$$x_o = \frac{4,0034}{11} = 0,364$$

$$y_o = \frac{1386,1}{11} = 126$$

Współczynnik korelacji ξ wyniesie

$$\xi = \frac{-3,7999}{\sqrt{0,093 \cdot 2309,4}} = -0,819$$

Współczynnik regresji

$$R = -0,819\sqrt{\frac{2309,4}{0,0093}} = -414,6$$

Równanie prostej regresji ma postać

$$y - y_o = R(x - x_o)$$

przeto

$$y - 126 = -414,6\ (x - 0,364)$$

skąd

$$y = 276,9\ (1 - 1,51x) \qquad (23)$$

Prawdopodobny błąd współczynnika korelacji określony ze wzoru (20) wyniesie

$$e_\xi = \pm 0,67\frac{1 - 0,819^2}{\sqrt{11}} = \pm 0,066$$

Z powyższego wynika, że między zmiennymi x i y istnieje ścisła zależność - błąd wynosi 6,6%. Dla wartości A = 141,4 wzór na wytrzymałość muru dla ułożenia cegieł jak na (rys. 15a) wykonanego na zaprawie wyższej marki przybierze postać

$$Rm = \frac{276,9}{141,4} Rc \frac{100 + Rc}{100 + 3,3\,Rc} \left(1 - \frac{0,2 \cdot 1,51)}{0,3 + \frac{Rz}{2Rc}}\right)$$

Skąd

$$Rm = 1,96\,Rc \frac{100 + Rc}{100 + 3,3\,Rc} \left(1 - \frac{0,302}{0,3 + \frac{Rz}{2Rc}}\right) \qquad (24)$$

Przedstawiając graficznie wzory (2) i (24) otrzymamy zależności jak na (rys. 41), na którym linią kreskowaną pokazano zależność normową. Na wykresie naniesiono również wielkości z badań.

W tablicy 44 zestawiono ekstremalne wartości teoretyczne Rm i R_m^n dla Rc i Rz zmieniających się od 0 do ∞. Można również wysnuć wnioski ogólne podobnie jak to uczyniono w punkcie 2.4.1.1, a mianowicie:

- przy wzroście wytrzymałości cegły od 0 do ∞ wytrzymałość muru Rm zmienia się w tych samych granicach,

Tablica 44

Ekstremalne wartości teoretyczne Rm i R_m^n

Wytrzymałość muru według wzoru	Dla Rc		Dla Rz	
	0	∞	0	∞
Normowego R_m^n	0	∞	48,7	141,4
Autora R_m	0	∞	3	276,9

- przy stałej wytrzymałości cegły (w przypadku analizy Rc = = 402 kG/cm^2) i wytrzymałości zaprawy rosnącej od 0 do ∞, różnice wytrzymałości muru liczone wzorem normowym i autora wahają się w nieco szczuplejszych granicach,
- ze wzrostem wytrzymałości zaprawy, wzrasta wykorzystanie cegły w murze, przy czym we wzorze (24) następuje to znacznie szybciej niż we wzorze normowym,
- stosując jeszcze wyższe marki zapraw uzyskać można wyższą wytrzymałość muru.

2.4.2. Analiza wyników badań murów z cegły pojedynczej (rys. 15b)

Postępując analogicznie jak przy analizie wytrzymałości murów pokazanych na (rys. 15a) analizę poprowadzi się osobno dla układów z cegły marki 250 i osobno z cegły marki 350.

2.4.2.1. Mury z cegły półklinkierowej

Jak widać z tablicy 33 wytrzymałość murów wykonanych na nowych zaprawach jest wyższa w stosunku do murów wykonanych na zaprawie marki 80 średnio o około 65%. Wychodząc jak poprzednio z równania linii prostej określonej wzorem (13), w którym A - w przypadku cegły marki 303 (ustalonej laboratoryjnie) osiąga wartość 111,8; można przystąpić do znalezienia dla tego wzoru zależności korelacyjnej między zmiennymi x i y wykorzystując w tym celu wyniki badań pięciu murów wykonanych na zaprawie cementowej wyższych marek - różnych. Potrzebne wielkości do obliczeń można uzyskać z tablicy 45

$$x_o = \frac{1,5845}{5} = 0,3169$$

$$y_o = \frac{616,65}{5} = 123,31$$

Tablica 45

Wielkości potrzebne do obliczenia współczynnika korelacji

x_i	y_i	x_i-x_o	y_i-y_o	$(x_i-x_o)^2$	$(y_i-y_o)^2$	$(x_i-x_o)(y_i-y_o)$
0,3496	108,35	0,0327	- 14,96	0,0010	223,80	- 0,489192
0,3096	112,4	- 0,0073	- 10,91	0,00005	119,03	0,079783
0,3059	141,70	- 0,0110	18,39	0,0001	338,19	- 0,202290
0,3097	128,10	- 0,0072	4,69	0,00005	22,90	- 0,034488
0,3097	126,10	- 0,0072	2,79	0,00005	7,79	- 0,020088
$\sum$=1,5845	616,65	0	0	0,00125	711,72	- 0,746

Współczynnik korelacji

$$\xi = \frac{-0,749}{\sqrt{0,00125 \cdot 711,72}} = -0,793$$

Współczynnik regresji

$$R = -0,793 \sqrt{\frac{711,72}{0,00125}} = -611,4$$

Równanie prostej regresji

$$y - 123,31 = -611,4\ (x - 0,3169)$$

skąd

$$y = 317\ (1 - 1,92\ x) \qquad (25)$$

Prawdopodobny błąd współczynnika korelacji określony wzorem (20) wyniesie

$$e_{\xi} = \pm 0,67 \frac{1 - 0,793^2}{\sqrt{5}} = \pm 0,107$$

Jak widać między zmiennymi x i y istnieje zależność, a błąd popełniany wynosi 10,7%. Wzór na wytrzymałość muru przybierze postać

$$Rm = \frac{317}{111,8} Rc \frac{100 + Rc}{100 + 3,3\ Rc} \left(1 - \frac{0,2 \cdot 1,92}{0,3 + \frac{Rz}{2Rc}}\right)$$

Skąd

$$Rm = 2,83\ Rc \frac{100 + Rc}{100 + 3,3\ Rc} \left(1 - \frac{0,384}{0,3 + \frac{Rz}{2Rc}}\right) \qquad (26)$$

Wykres (rys. 42) ilustruje otrzymaną zależność, na którym linią przerywaną pokazano zależność normową. W tablicy 46 zestawiono ekstremalne wartości teoretyczne Rm i R_m^n dla Rz i Rc zmieniających się od 0 do ∞. Z tablicy 46 wynikają wnioski ogólne analogiczne jak z tablicy 42.

Tablica 46

Ekstremalne wartości teoretyczne Rm i R_m^n

Wytrzymałość muru według wzoru	Dla Rc		Dla Rz	
	0	∞	0	∞
Normowego R_m^n	0	∞	38,01	111,8
Autora R_m	0	∞	88,9	317

2.4.2.2. Mury z cegły klinkierowej

Wytrzymałość murów wykonanych na nowych zaprawach w stosunku do wytrzymałości normowych jak wynika z tablicy 33 wzrosła średnio o około 60%. Postępując podobnie jak przy wyprowadzaniu wzoru (24) w tablicy 47 podano wielkości potrzebne do znalezienia współczynnika korelacji ξ. W oparciu o tablicę 47 określono wielkości, które wynoszą:

$$x_o = \frac{4,070}{11} = 0,3700;$$

$$y_o = \frac{1548,2}{11} = 140,74$$

Współczynnik korelacji wyniesie

$$\xi = \frac{-2,916}{\sqrt{0,0034 \cdot 3597,76}} = -0,83$$

Tablica 47

Wielkości potrzebne do obliczenia współczynnika korelacji

x_i	y_i	x_i-x_o	y_i-y_o	$(x_i-x_o)^2$	$(y_i-y_o)^2$	$(x_i-x_o)(y_i-y_o)$
0,3960	118,2	0,0260	- 22,5	0,0007	508,05	- 0,586
0,3960	118,0	0,0260	- 22,6	0,0007	517,107	- 0,591
0,3960	115,0	0,0260	- 25,7	0,0007	662,5476	- 0,669
0,3731	136,5	0,0031	- 4,1	0,00001	17,9776	- 0,013144
0,3663	168:3	- 0,0041	27,6	0,00001	759,6536	- 0,101972
0,3509	167,4	- 0,019	26,7	0,0004	710,6556	- 0,509206
0,3509	159,0	- 0,019	18,3	0,0004	333,4276	- 0,348766
0,3560	147,8	- 0,014	7,1	0,0002	49,8436	- 0,09884
0,3560	144,1	- 0,014	3,4	0,0002	11,2896	- 0,04704
0,3644	137,9	- 0,0055	- 3,7	0,00003	14,7456	0,021504
0,3644	136,0	- 0,0055	- 4,6	0,00003	22,4676	0,026544
$\sum$=4,0700	1548,2	0	0	0,0034	3597,76	- 2,916

Współczynnik regresji

$$R = - 0,83\sqrt{\frac{3597,76}{0,0034}} = - 849,09$$

Równanie prostej regresji

$$y - 140,74 = - 849,09 \ (x - 0,37)$$

skąd

$$y = 456,27 \ (1 - 1,87 \ x) \qquad (27)$$

Prawdopodobny błąd współczynnika korelacji określony wzorem (20) wyniesie

$$e_\varrho = \pm 0,67 \frac{1 - 0,83^2}{\sqrt{11}} = \pm 0,09$$

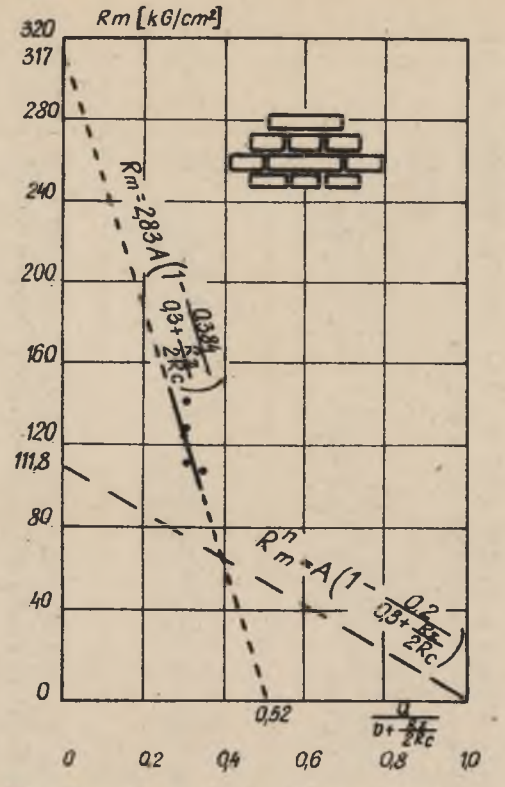
Z powyższego wynika, że między zmiennymi x i y istnieje ścisła zależność (błąd wynosi 9%). W ten sposób dla wartości A = 141,4 wzór na wytrzymałość otrzyma postać:

$$Rm = \frac{456.27}{141,4} Rc \frac{100 + Rc}{100 + 3,3 Rc} \left(1 - \frac{0,2 \cdot 1,87}{0,3 + \frac{Rz}{2Rc}}\right)$$

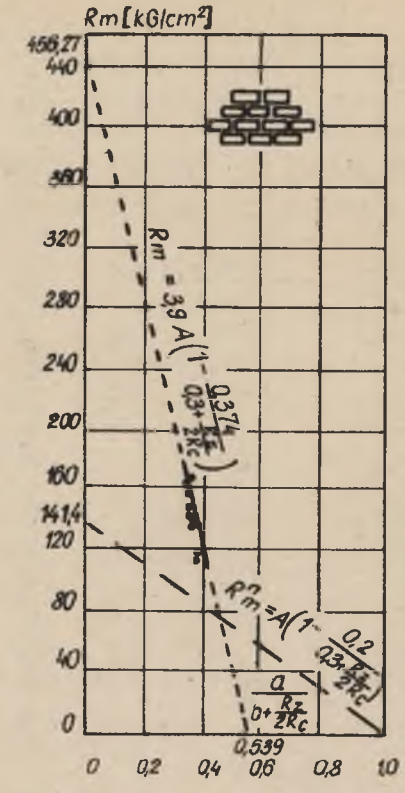
skąd

$$Rm = 3,9 Rc \frac{100 + Rc}{100 + 3,3 Rc} \left(1 - \frac{0,374}{0,3 + \frac{Rz}{2Rc}}\right) \qquad (28)$$

Wykres (rys. 43) ilustruje otrzymaną zależność na którym linią przerywaną pokazano zależność normową. W tablicy 48 podano ekstremalne wartości Rm i R_m^n dla Rz i Rc zmieniających się od 0 - ∞. Z tabeli 48 wynikają ogólne wnioski podobne jak dla układu (rys. 15a) tablica 44.



Rys. 42. Wykres zależności między wartościami wytrzymałościowymi cegły, zaprawy i muru obudowy dla układu cegieł pojedynczych jak nad wykresem - przy obciążeniu osiowym



Rys. 43. Wykres zależności między wartościami wytrzymałościowymi cegły, zaprawy i muru obudowy dla układu cegieł pojedynczych jak nad wykresem - przy obciążeniu osiowym

Tablica 48

Ekstremalne wartości teoretyczne Rm i R_m^n

Wytrzymałość muru według wzoru	Dla Rc		Dla Rz	
	0	∞	0	∞
Normowego R_m^n	0	∞	48,07	141,4
Autora R_m	0	∞	109,5	456,27

2.4.3.1. Mury z cegły półklinkierowej

Z tablicy 34 wynika, że wytrzymałość murów wykonanych na nowych zaprawach w stosunku do wytrzymałości murów wyliczonych z wzoru normowego podniosła się o około 65%. Postępując analogicznie jak w punkcie 2.4.1.1 i posługując się tablicą 49 otrzymamy:

$$x_o = 0,3168$$

$$y_o = 125,8$$

Współczynnik korelacji

$$\varrho = \frac{-0,4707}{\sqrt{0,00163 \cdot 604,86}} = -0,47$$

Współczynnik regresji

$$R = -0,47\sqrt{\frac{604,86}{0,00163}} = -308,7$$

Tablica 49

Wielkości potrzebne do obliczenia współczynnika korelacji ξ

x_i	y_i	x_i-x_o	y_i-y_o	$(x_i-x_o)^2$	$(y_i-y_o)^2$	$(x_i-x_o)(y_i-y_o)$
0,3496	119	0,0228	- 6,8	0,0005	46,24	- 0,1550
0,3496	118	0,0228	- 7,8	0,0005	60,84	- 0,1778
0,3096	124	- 0,0072	- 1,8	0,00005	3,24	0,0129
0,3096	124	- 0,0072	- 1,8	0,00005	3,24	0,0129
0,3096	127	- 0,0072	1,2	0,00005	1,44	- 0,0086
0,3059	134,5	- 0,0109	8,7	0,00011	75,69	- 0,0948
0,3059	130,2	- 0,0109	4,4	0,00011	19,36	- 0,04796
0,3059	136	- 0,0109	10,2	0,00011	104,04	- 0,11118
0,3097	110,5	0,0071	- 15,3	0,00005	234,09	- 0,1086
0,3097	133	0,0071	7,2	0,00005	51,84	0,0511
0,3097	128	0,0071	2,2	0,00005	4,84	0,01562
$\sum$ =3,4848	1384,2	0	0	0,00163	604,86	- 0,4707

Równanie prostej regresji

$$y - 125,8 = - 308,7 \ (x - 0,3168)$$

$$y = 223,6 \ (1 - 1,38 \ x) \qquad (29)$$

Prawdopodobny błąd współczynnika korelacji wyniesie

$$e_{\xi} = \pm 0,67 \frac{1 - 0,47^2}{\sqrt{11}} = \pm 0,156$$

Świadczy to, że między zmiennymi x i y zachodzi zależność, przy czym popełniany błąd wynosi 15,6%. Wzór na wytrzymałość muru będzie:

$$Rm = \frac{223,6}{111,8} Rc \frac{100 + Rc}{100 + 3,3 \ Rc} \left(1 - \frac{0,2 \cdot 1,38}{0,3 + \frac{Rz}{2Rc}}\right)$$

$$Rm = 2Rc \frac{100 + Rc}{100 + 3,3 \ Rc} \left(1 - \frac{0,276}{0,3 + \frac{Rz}{2Rc}}\right) \qquad (30)$$

Wykres (rys. 44) ilustruje zależność (2 i 30). W tablicy 50 podano ekstremalne wartości teoretyczne Rm i R_m^n dla Rz i Rc zmieniających się od 0 - ∞, z których można wysnuć podobne wnioski ogólne jak z poprzednich tablic.

Tablica 50

Ekstremalne wartości teoretyczne Rm i R_m^n

Wytrzymałość muru według wzoru	Dla Rc		Dla Rz	
	0	∞	0	∞
Normowego R_m^n	0	∞	38,01	111,8
Autora R_m	0	∞	17,88	223,6

2.4.3.2. Mury z cegły klinkierowej

Z tablicy 34 wynika, że wytrzymałość murów wykonanych na nowych zaprawach w stosunku do wytrzymałości murów wynikających z normy - podniosła się o około 50%. Idąc za tokiem myślowym podanym w punkcie 2.4.1.1, posługując się jednocześnie tablicą 51 otrzymamy:

$$x_o = 0,3668$$

$$y_o = 139,7$$

Współczynnik korelacji

$$\xi = \frac{-1,1819}{\sqrt{0,00258 \cdot 776,38}} = -0,838$$

Współczynnik regresji

$$R = -0,838\sqrt{\frac{776,38}{0,00258}} = -457,54$$

Równanie prostej regresji

$$y - 139,7 = -457,54\ (x - 0,3668)$$

skąd

$$y = 307,42\ (1 - 1,48\ x) \qquad (31)$$

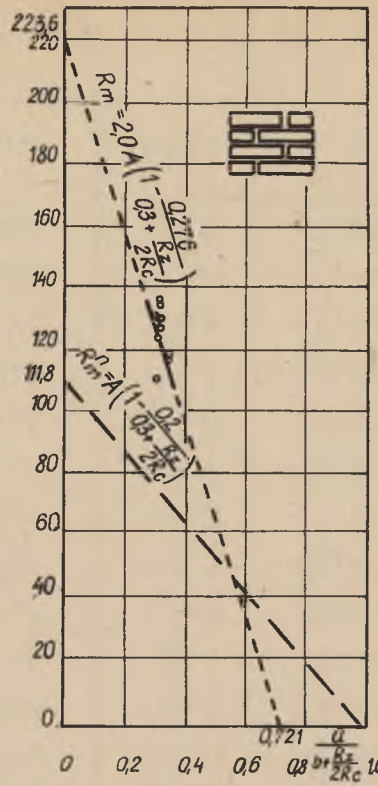
Prawdopodobny błąd współczynnika korelacji posiada wartość

$$e_\xi = \pm 0,67\ \frac{1 - 0,838^2}{\sqrt{12}} = \pm 0,0576$$

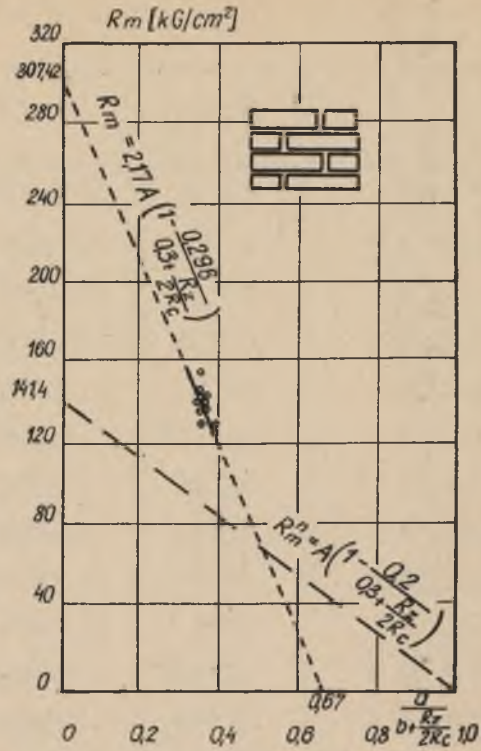
Tablica 51

Wielkości potrzebne do obliczenia współczynnika korelacji ξ

x_i	y_i	x_i-x_o	y_i-y_o	$(x_i-x_o)^2$	$(y_i-y_o)^2$	$(x_i-x_o)(y_i-y_o)$
0,3960	127,5	0,0292	- 12,2	0,00086	148,89	- 0,35624
0,3960	126,1	0,0292	- 13,6	0,00086	184,96	- 0,39312
0,3731	140,7	0,0034	1,0	0,0000115	1,00	0,0340
0,3731	139,0	0,0034	- 0,7	0,0000115	0,49	- 0,00238
0,3528	144,5	- 0,014	4,8	0,000196	23,09	- 0,0672
0,3528	147,0	- 0,014	7,3	0,000196	53,29	- 0,1022
0,3528	155,1	- 0,014	15,4	0,000196	237,16	- 0,2156
0,3560	144,0	- 0,0108	4,3	0,000116	18,49	- 0,04644
0,3560	145,0	- 0,0108	5,3	0,000116	28,09	- 0,05724
0,3644	137,5	- 0,0024	- 2,2	0,0000057	4,84	0,00528
0,3644	139,0	- 0,0024	0,7	0,0000057	0,49	- 0,00168
0,3644	131,0	- 0,0024	- 8,7	0,0000057	75,69	0,02088
$\sum$ =4,4018	1676,4	0	0	0,00258	776,38	- 1,1819



Rys. 44. Wykres zależności między wartościami wytrzymałościowymi cegły, zaprawy i muru obudowy dla układu cegieł pojedynczych jak nad wykresem - przy obciążeniu osiowym



Rys. 45. Wykres zależności między wartościami wytrzymałościowymi cegły, zaprawy i muru obudowy dla układu cegieł pojedynczych jak nad wykresem - przy obciążeniu osiowym

Popełniany błąd wynosi 5,76%, a wytrzymałość muru

$$Rm = \frac{307,42}{141,4} Rc \frac{100 + Rc}{100 + 3,3\ Rc} \left(1 - \frac{0,2 \cdot 1,48}{0,3 + \frac{Rz}{2Rc}}\right)$$

$$Rm = 2,17\ Rc \frac{100 + Rc}{100 + 3,3\ Rc} \left(1 - \frac{0,296}{0,3 + \frac{Rz}{2Rc}}\right) \qquad (32)$$

Wykres (rys. 45) ilustruje zależność (2) i (32), którą zaznaczono linią przerywaną. W tablicy 52 podano ekstremalne wartości teoretyczne Rm i R_m^n dla Rz i Rc zmieniających się od 0 - ∞, z których można wysnuć ogólne wnioski podobne jak z tablicy 44.

Tablica 52

Ekstremalne wartości teoretyczne Rm i R_m^n

Wytrzymałość muru według wzoru	Dla Rc		Dla Rz	
	0	∞	0	∞
Normowego R_m^n	0	∞	48,07	141,4
Autora R_m	0	∞	4,3	307,42

2.4.4. Analiza wyników badań murów z cegły pojedynczej (rys. 15d)

2.4.4.1. Mury z cegły półklinkierowej

Z tablicy 35 wynika, że wytrzymałość murów wykonanych na nowych zaprawach wzrosła (w porównaniu do wytrzymałości normowej) o około 35%. Rozumując podobnie jak w punkcie 2.4.1.1 oraz posługując się tablicą 53 otrzymamy:

$$x_o = 0,3192$$

$$y_o = 123,6$$

Tablica 53

Wielkości potrzebne do obliczenia współczynnika korelacji

x_i	y_i	x_i-x_o	y_i-y_o	$(x_i-x_o)^2$	$(y_i-y_o)^2$	$(x_i-x_o)(y_i-y_o)$
0,3496	108,3	0,0304	- 15,3	0,00092	234,09	- 0,4651
0,3096	127,9	- 0,0096	4,3	0,00009	18,49	- 0,0412
0,3097	147,7	- 0,0100	24,1	0,0001	580,81	- 0,2410
0,3097	134,4	- 0,010	10,0	0,0001	118,81	- 0,1090
0,3174	99,8	- 0,0018	- 23,8	0,000003	566,44	0,0428
$\sum$ 1,5960	618,2	0	0	0,00121	1518,64	- 0,8135

Współczynnik korelacji

$$\zeta = \frac{-0{,}8135}{\sqrt{0{,}00121 \cdot 1518{,}64}} = -0{,}602$$

Współczynnik regresji

$$R = -0{,}602\sqrt{\frac{1518{,}64}{0{,}00121}} = -674{,}24$$

Równanie prostej regresji

$$y - 123{,}6 = -674{,}24\,(x - 0{,}3192)$$

$$y = 339\,(1 - 1{,}99\,x) \qquad (33)$$

prawdopodobny błąd współczynnika korelacji określony ze wzoru (20) posiada wartość:

$$e_\zeta = \pm 0{,}67\,\frac{1 - 0{,}602^2}{\sqrt{5}} = \pm 0{,}191$$

Między zmiennymi x i y istnieje zależność - błąd 19,1%. W ten sposób dla A = 111,8 wzór na wytrzymałość muru przybiera postać:

$$Rm = \frac{339}{111{,}8}\,Rc\,\frac{100 + Rc}{100 + 3{,}3\,Rc}\left(1 - \frac{0{,}2 \cdot 1{,}99}{0{,}3 + \frac{Rz}{2Rc}}\right)$$

skąd

$$Rm = 3{,}032\,Rc\,\frac{100 + Rc}{100 + 3{,}3\,Rc}\left(1 - \frac{0{,}399}{0{,}3 + \frac{Rz}{2Rc}}\right) \qquad (34)$$

Wykres (rys. 46) ilustruje otrzymaną zależność (34). Linią kreskowaną pokazano zależność normową. W tabeli 54 podano ekstremalne wartości teoretyczne Rm i R_m^n dla Rz i Rc zmieniających się od 0 - ∞, z których wynikają ogólne wnioski podobne jak z tablicy 42.

Tablica 54

Ekstremalne wartości teoretyczne Rm i R_m^n

Wytrzymałość muru według wzoru	Dla Rc		Dla Rz	
	0	∞	0	∞
Normowego R_m^n	0	∞	38,01	111,8
Autora R_m	0	∞	111,9	139

Przy średniej wytrzymałości cegły i przy wytrzymałości zaprawy rosnącej od 0 - ∞, wzór (34) daje nieco mniejszą różnicę skrajnych wytrzymałości muru. Zmniejsza to nieco możliwość większego wykorzystania wytrzymałości cegły w murze przy jeszcze mocniejszych zaprawach niż zastosowano w badaniach.

2.4.4.2. Mury z cegły klinkierowej

Z tablicy 35 wynika, że wytrzymałość murów wykonanych na zaprawach wyższych marek wzrosła (w porównaniu do wytrzymałości normowej) o około 55%. Postępując podobnie jak w punkcie 2.4.1.2 i korzystając z tablicy 55 otrzymamy

$$x_o = 0,3651$$

$$y_o = 142,28$$

Tablica 55

Wielkości potrzebne do obliczenia współczynnika korelacji

x_i	y_i	x_i-x_o	y_i-y_o	$(x_i-x_o)^2$	$(y_i-y_o)^2$	$(x_i-x_o)(y_i-y_o)$
0,3960	127,7	0,0309	- 14,58	0,00095	212,576	- 0,4505
0,3960	125,1	0,0309	- 17,18	0,00095	295,152	- 0,5308
0,3731	137,9	0,0080	- 4,38	0,00006	19,184	- 0,0350
0,3731	134,1	0,0080	- 8,18	0,00006	66,912	- 0,06544
0,3528	147,6	- 0,0123	5,32	0,00015	28,302	- 0,06543
0,3278	188,3	- 0,0373	46,1	0,00139	212,521	- 1,7195
0,3560	147,0	- 0,0091	4,8	0,00008	23,04	- 0,04368
0,3560	141,8	- 0,0091	- 0,48	0,00008	0,23	0,00436
0,3560	145,0	- 0,0091	2,72	0,00008	7,398	- 0,02475
0,3644	128,3	- 0,0007	- 13,98	0,00000049	196,0	0,009786
$\sum$ 3,6512	1422,8	0	0	0,0038	2973,996	- 2,9208

Współczynnik korelacji

$$\zeta = \frac{-2,9208}{\sqrt{0,0038 \cdot 2973,996}} = -0,869$$

Współczynnik regresji

$$R = -0,869\sqrt{\frac{2973,996}{0,0038}} = -769,95$$

Równanie prostej regresji

$$y - 142,28 = -769,95\ (x - 0,3651)$$

skąd

$$y = 423,29\ (1 - 1,81\ x) \qquad (35)$$

Prawdopodobny błąd współczynnika korelacji z wzoru (20) wyniesie:

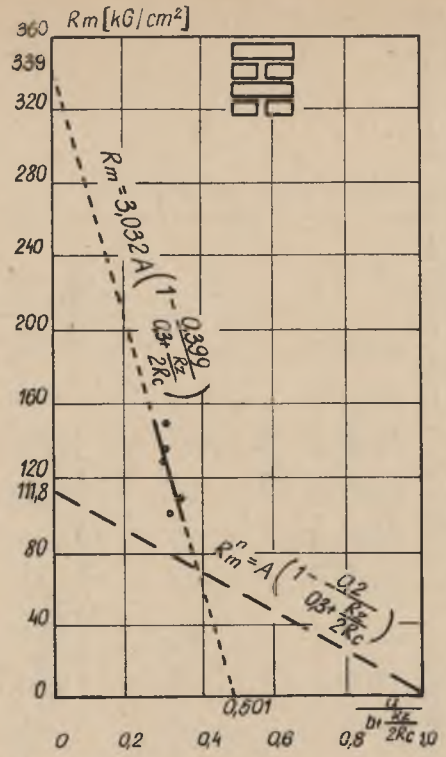
$$e_\zeta = \pm 0,67\ \frac{1 - 0,869^2}{\sqrt{10}} = \pm 0,016$$

Między zmiennymi x i y istnieje zależność bardzo ścisła - błąd 1,6%. Wzór na wytrzymałość muru przybierze postać

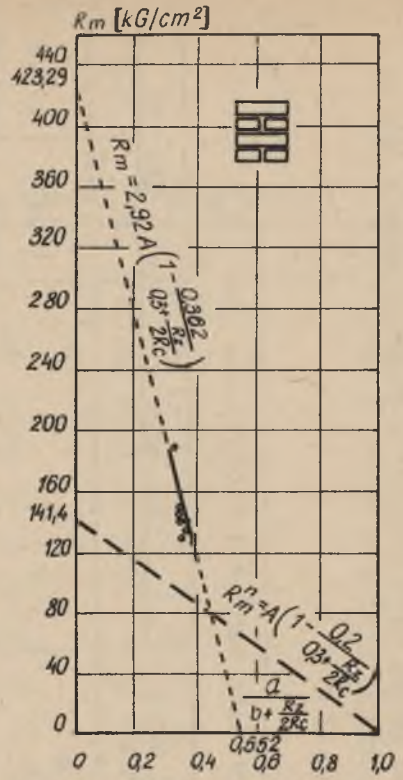
$$Rm = \frac{432,29}{141,4}\ Rc\ \frac{100 + Rc}{100 + 3,3\ Rc}\left(1 - \frac{0,2 \cdot 1,81}{0,3 + \frac{Rz}{2Rc}}\right)$$

skąd

$$Rm = 2,92\ Rc\ \frac{100 + Rc}{100 + 3,3\ Rc}\left(1 - \frac{0,362}{0,3 + \frac{Rz}{2Rc}}\right) \qquad (36)$$



Rys. 46. Wykres zależności między wartościami wytrzymałościowymi cegły, zaprawy i muru obudowy dla układu cegieł pojedynczych jak nad wykresem, przy obciążeniu osiowym



Rys. 47. Wykres zależności między wartościami wytrzymałościowymi cegły, zaprawy i muru obudowy dla układu cegieł pojedynczych jak nad wykresem - przy obciążeniu osiowym

Wykres (rys. 47) ilustruje otrzymaną zależność (36 i 2). Linią kreskowaną pokazano zależność normową. W tablicy 56 podano ekstremalne wartości teoretyczne Rm i R_m^n dla Rc i Rz zmieniających się od 0-∞. Z tablicy 56 wynikają ogólne wnioski, które można wypowiedzieć w podobny sposób jak to uczyniono w punkcie 2.4.1.1.

Tablica 56

Ekstremalne wartości teoretyczne Rm i R_m^n

Wytrzymałość muru według wzoru	Dla Rc		Dla Rz	
	0	∞	0	∞
Normowego R_m^n	0	∞	48,07	141,4
Autora R_m	0	∞	85,1	423,29

2.4.5.1. Mury z cegły półklinkierowej

Prowadząc podobne rozważania dla murów (rys. 15e), które wykonano na nowych zaprawach uzyskano zwiększenie ich wytrzymałości o około 65% - w porównaniu z wytrzymałościami uzyskanymi z wzoru normowego. I wykorzystując tablicę 57 otrzymamy:

$$x_o = 0,3185$$

$$y_o = 123,2$$

Współczynnik korelacji

$$\zeta = \frac{-1,01139}{\sqrt{0,00366 \cdot 384,59}} = -0,8644$$

Tablica 57

Wielkości potrzebne do obliczenia współczynnika korelacji S

x_i	y_i	x_i-x_o	y_i-y_o	$(x_i-x_o)^2$	$(y_i-y_o)^2$	$(x_i-x_o)(y_i-y_o)$
0,3496	119,0	0,0309	- 5,8	0,0009	33,64	- 0,17922
0,3496	114,0	0,0309	- 9,2	0,0009	84,64	- 0,28428
0,3496	116,1	0,0309	- 7,1	0,0009	50,41	- 0,21939
0,3096	127,5	- 0,0091	4,3	0,00008	18,49	- 0,03913
0,3096	127,0	- 0,0091	3,8	0,00008	14,44	- 0,03458
0,3096	123,0	- 0,0091	- 0,2	0,00008	0,04	0,00182
0,3059	110,5	- 0,0128	- 2,7	0,00016	7,29	0,03456
0,3059	134,1	- 0,0128	10,9	0,00016	118,81	- 0,14061
0,3059	127,9	- 0,0128	4,7	0,00016	22,09	- 0,06056
0,3097	127,5	- 0,009	4,3	0,00008	18,49	- 0,0387
0,3097	126,1	- 0,009	2,9	0,00008	8,41	- 0,0261
0,3097	126,0	- 0,0090	2,8	0,00008	7,84	- 0,0252
$\sum$=3,8244	1478,7	0	0	0,00366	384,59	- 1,01139

Współczynnik regresji

$$R = - 0{,}8644 \sqrt{\frac{384{,}59}{0{,}00366}} = - 281{,}79$$

Równanie prostej regresji

$$y - 123{,}2 = - 281{,}79 \, (x - 0{,}3127)$$

$$y = 203 \, (1 - 1{,}38 \, x) \qquad (37)$$

Prawdopodobny błąd współczynnika korelacji określony z wzoru (20)

$$e_r = \pm 0{,}67 \frac{1 - 0{,}8644^2}{\sqrt{12}} = \pm 0{,}047$$

Między zmiennymi x i y zachodzi zależność - błąd 4,7%. W ten sposób

$$Rm = \frac{203}{111{,}8} Rc \frac{= 100 + Rc}{100 + 3{,}3 \, Rc} \left(1 - \frac{0{,}2 \cdot 1{,}38}{0{,}3 + \frac{Rz}{2Rc}}\right)$$

$$Rm = 1{,}81 \, Rc \frac{100 + Rc}{100 + 3{,}3 \, Rc} \left(1 - \frac{0{,}276}{0{,}3 + \frac{Rz}{2Rc}}\right) \qquad (38)$$

Wykres (rys. 48) ilustruje zależność (38, 2). Linią kreskowaną pokazano zależność normową. W tablicy 58 podano ekstremalne wartości teoretyczne Rm i R_m^n dla Rc i Rz zmieniających się od $0 - \infty$.

Wynikające ogólne wnioski z tablicy 58 pokrywają się z wnioskami wypowiedzianymi w punkcie 2.4.1.1.

Tablica 58

Ekstremalne wartości teoretyczne Rm i R_m^n

Wytrzymałość muru według wzoru	Dla Rc		Dla Rz	
	0	∞	0	∞
Normowego R_m^n	0	∞	38,01	111,8
Autora R_m	0	∞	16,24	203

2.4.4.5.2. Mury z cegły klinkierowej

Śledząc wielkości podane w tablicy 36 zauważymy, że wytrzymałość murów wzrosła o około 55%. Postępując analogicznie jak w punkcie 2.4.1.1 oraz korzystając z tablicy 59 otrzymamy:

$$x_o = 0,3685$$

$$y_o = 144,5$$

Współczynnik korelacji

$$\zeta = \frac{-2,3623}{\sqrt{0,0035 \cdot 2825,95}} = -0,752$$

Współczynnik regresji

$$R = -0,752\sqrt{\frac{2825,95}{0,0035}} = -673,7$$

Równanie prostej regresji

$$y - 144,5 = -673,7\,(x - 0,3685)$$

$$y = 392,75\,(1 - 1,71\,x) \qquad (39)$$

Tablica 59

Wielkości potrzebne do obliczenia współczynnika korelacji ś

x_i	y_i	x_i-x_o	y_i-y_o	$(x_i-x_o)^2$	$(y_i-y_o)^2$	$(x_i-x_o)(y_i-y_o)$
0,3961	119	0,0276	- 25,5	0,000761	650,25	- 0,70380
0,3961	125	0,0276	- 15,5	0,000761	240,25	- 0,42780
0,3961	120	0,0276	- 24,5	0,000761	600,25	- 0,67620
0,3963	170	- 0,0022	25,5	0,000004	650,25	- 0,05610
0,3731	151	0,0046	6,5	0,000021	42,25	0,02990
0,3528	136,1	- 0,0157	- 8,4	0,000246	70,56	0,13180
0,3528	157,2	- 0,0157	12,7	0,000246	161,29	- 0,19939
0,3528	160,0	- 0,0157	15,5	0,000246	240,25	- 0,24335
0,3560	144,5	- 0,0125	0,0	0,000156	0,0	0,0
0,3560	150,1	- 0,0125	5,6	0,000156	31,36	- 0,070
0,3560	156,3	- 0,0125	11,8	0,000156	139,24	- 0,14750
$\sum$=4,0541	1589,2	0	0	0,0035	2825,95	- 2,36236

Prawdopodobny błąd współczynnika korelacji wyniesie

$$e_\xi = \pm 0{,}67 \frac{1 - 0{,}752^2}{\sqrt{11}} = \pm 0{,}091$$

Między zmiennymi x i y istnieje dość ścisła zależność - błąd 9,1%.

Wzór na wytrzymałość muru będzie zatem

$$Rm = \frac{392{,}75}{141{,}4} Rc \frac{100 + Rc}{100 + 3{,}3\,Rc} \left(1 - \frac{0{,}2 \cdot 1{,}71}{0{,}3 + \frac{Rz}{2Rc}}\right)$$

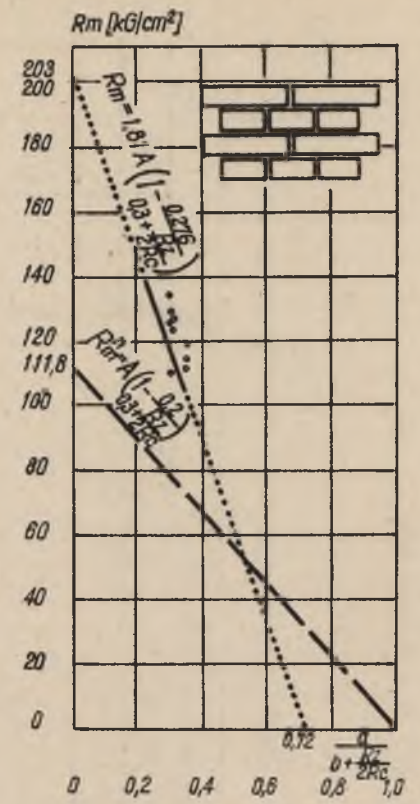
$$Rm = 2{,}77\,Rc \frac{100 + Rc}{100 + 3{,}3\,Rc} \left(1 - \frac{0{,}342}{0{,}3 + \frac{Rz}{3Rc}}\right) \qquad (40)$$

Wykres (rys. 49) ilustruje zależność (40) i zależność (2) oznaczoną linią kreskowaną. W tablicy 60 podano ekstremalne wartości teoretyczne Rm i R_m^n dla Rc i Rz zmieniających się od 0 - ∞. Z tablicy można wypowiedzieć ogólne wnioski podobne jak z tablicy 42.

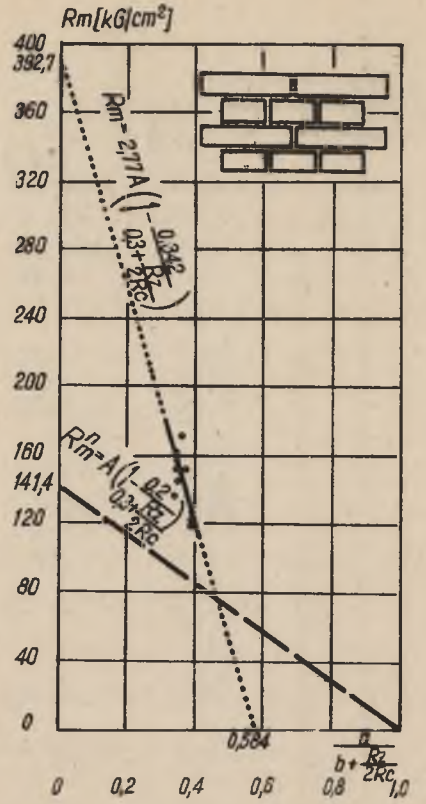
Tablica 60

Ekstremalne wartości teoretyczne Rm i R_m^n

Wytrzymałość muru według wzoru	Dla Rc		Dla Rz	
	0	∞	0	∞
Normowego R_m^n	0	∞	48,07	141,4
Autora R_m	0	∞	45	392,75



Rys. 48. Wykres zależności między wartościami wytrzymałościowymi cegły, zaprawy i muru obudowy dla układu cegieł pojedynczych jak nad wykresem - przy obciążeniu osiowym



Rys. 49. Wykres zależności między wartościami wytrzymałościowymi cegły, zaprawy i muru obudowy dla układu cegieł jak nad wykresem - przy obciążeniu osiowym

2.4.6.1. Mury z cegły półklinkierowej

Śledząc wielkości podane w tablicy 37 widzimy, że wytrzymałość murów wzrosła o około 38% w stosunku do wytrzymałości normowej. Postępując jak w punkcie 2.4.1.1 i przy użyciu tablicy 61 otrzymamy

$$x_o = 0{,}3129$$

$$y_o = 107{,}58$$

Współczynnik korelacji

$$\zeta = \frac{-1{,}6859}{\sqrt{0{,}001934 \cdot 3386{,}78}} = -0{,}659$$

Współczynnik regresji

$$R = -0{,}659\sqrt{\frac{3386{,}78}{0{,}001934}} = -862{,}63$$

Równanie prostej regresji

$$y - 107{,}58 = -862{,}63\,(x - 0{,}3129)$$

$$y = 376{,}58\,(1 - 2{,}28\,x) \qquad (41)$$

Prawdopodobny błąd współczynnika korelacji wyniesie

$$e_\zeta = \pm 0{,}67\,\frac{1 - 0{,}659^2}{\sqrt{7}} = \pm 0{,}14$$

Tablica 61

Wielkości potrzebne do obliczenia współczynnika korelacji δ

x_i	y_i	x_i-x_o	y_i-y_o	$(x_i-x_o)^2$	$(y_i-y_o)^2$	$(x_i-x_o)(y_i-y_o)$
0,3496	82,2	0,0367	- 25,38	0,001346	644,144	- 0,931446
0,3096	82,2	- 0,0033	- 25,38	0,00001	644,144	0,083754
0,3096	91,7	- 0,0033	- 15,88	0,00001	252,174	0,052404
0,3059	134,0	- 0,0073	26,42	0,000053	697,976	- 0,192866
0,2911	141,0	- 0,0218	33,42	0,000475	1116,956	- 0,728556
0,3174	113,0	0,0045	5,42	0,00002	29,376	0,02439
0,3174	109,0	0,0045	1,42	0,00002	2,016	0,00639
$\sum$=2,1906	753,1	0	0	0,001934	3386,786	- 1,6859

Między zmiennymi x i y istnieje zależność, której błąd wynosi 14%. Pamiętając o powyższym otrzymamy

$$Rm = \frac{376}{111,8} Rc \frac{100 + Rc}{100 + 3,3\ Rc} \left(1 - \frac{0.2 \cdot 2.28}{0,3 + \frac{Rz}{2Rc}}\right)$$

$$Rm = 3,36\ Rc \frac{100 + Rc}{100 + 3,3\ Rc} \left(1 - \frac{0.456}{0,3 + \frac{Rz}{2Rc}}\right) \qquad (42)$$

Wykres (rys. 50) podaje zależność (42) i (2) przy czym tę ostatnią zaznaczono linią kreskowaną. W tablicy 62 podano ekstremalne wartości Rm i R_m^n dla Rz i Rc zmieniające się od 0 - ∞; w oparciu o którą można powiedzieć, że skrajne wytrzymałości są mniejsze wg wzoru wyprowadzonego.

Tablica 62

Ekstremalne wartości teoretyczne Rm i R_m^n

Wytrzymałość muru według wzoru	Dla Rc		Dla Rz	
	0	∞	0	∞
Normowego R_m^n	0	∞	38,01	111,8
Autora R_m	0	∞	196	376

2.4.6.2. Mury z cegły klinkierowej

Na podstawie tablicy 37, z której wynika, że wytrzymałość muru wzrosła o 12% można wnioskować o ujemnym wpływie pionowych spoin na wytrzymałość muru. Korzystając z tablicy 63 i zachowując podany tok rozważań w punkcie 2.4.1 otrzymamy:

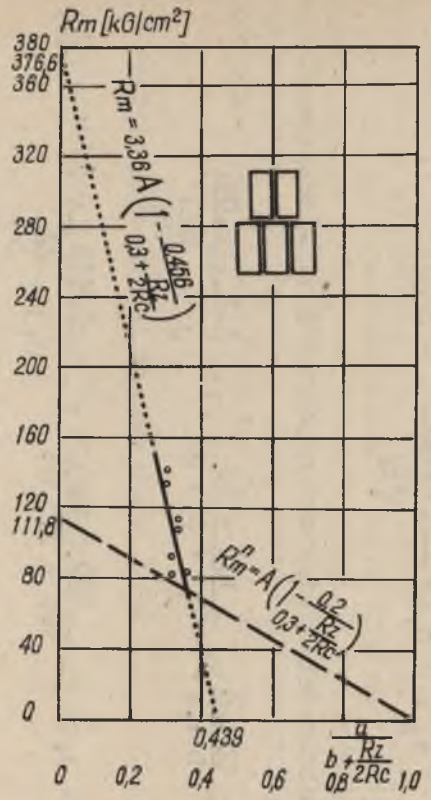
$$x_o = 0,3703$$

$$y_o = 114,1$$

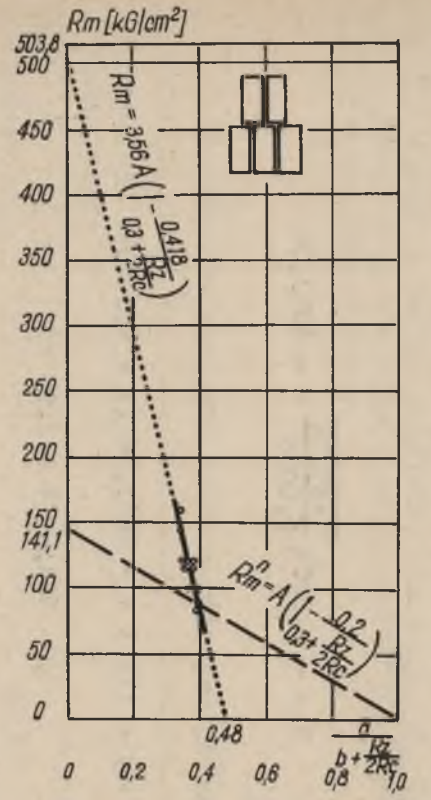
Tablica 63

Wielkości potrzebne do obliczenia współczynnika korelacji ρ

x_i	y_i	x_i-x_o	y_i-y_o	$(x_i-x_o)^2$	$(y_i-y_o)^2$	$(x_i-x_o)(y_i-y_o)$
0,3960	95,9	0,0257	- 18,2	0,00066	331,24	- 0,4677
0,3960	83,6	0,0257	- 30,5	0,00066	930,25	- 0,0771
0,3960	85,1	0,0257	- 29,0	0,00066	841,00	- 0,5553
0,3731	95,5	0,0028	- 18,6	0,000008	345,96	- 0,0521
0,3731	119,1	0,0028	5,0	0,000008	25,00	0,0140
0,3731	115,2	0,0028	1,1	0,000008	1,21	0,0031
0,3378	158,8	- 0,0325	44,7	0,0011	1998,09	- 0,4527
0,3528	120,1	- 0,0175	6,0	0,0003	36,0	- 0,1050
0,3528	143,7	- 0,0175	29,6	0,0003	876,16	- 0,5250
0,3644	120,7	- 0,0059	6,6	0,00003	43,56	- 0,0396
0,3644	114,3	- 0,0059	0,2	0,00003	0,04	- 0,0012
0,3644	118,0	- 0,0059	3,9	0,00003	15,21	- 0,0236
$\sum$=4,4439	1370	0	0	0,0038	5443,72	- 3,9861



Rys. 50. Wykres zależności między wartościami wytrzymałościowymi cegły, zaprawy i muru obudowy dla układu cegieł pojedynczych jak nad wykresem - przy obciążeniu osiowym



Rys. 51. Wykres zależności między wartościami wytrzymałościowymi cegły, zaprawy i muru obudowy dla układu cegieł pojedynczych jak nad wykresem - przy obciążeniu osiowym

Współczynnik korelacji

$$\xi = \frac{-3,9861}{\sqrt{0,0038 \cdot 5443,72}} = -0,880$$

Współczynnik regresji

$$R = -0,880\sqrt{\frac{5443,72}{0,0038}} = -1053,36$$

Równanie prostej regresji

$$y - 114,1 = -1053,36\ (x - 0,3703)$$

$$y = 503,8\ (1 - 2,09\ x) \qquad (43)$$

Prawdopodobny błąd współczynnika korelacji obliczony wzorem (20) wyniesie 4%, co świadczy

$$e_\xi = \pm 0,67\ \frac{1 - 0,880^2}{\sqrt{12}} = \pm 0,044$$

o ścisłej zależności między zmiennymi x i y. W ten sposób

$$Rm = \frac{503,8}{141,4}\ Rc\ \frac{100 + Rc}{100 + 3,3\ Rc}\ \left(1 - \frac{0,2 \cdot 2,09}{0,3 + \frac{Rz}{2Rc}}\right)$$

$$Rm = 3,56\ Rc\ \frac{100 + Rc}{100 + 3,3\ Rc}\ \left(1 - \frac{0,418}{0,3 + \frac{Rz}{2Rc}}\right) \qquad (44)$$

Wykres (rys. 51) podaje zależność między wzorem (44), a wzorem normowym (2) zaznaczonym na wykresie linią przerywaną. W tablicy 64 podano ekstremalne wartości teoretyczne Rm i R_m^n dla Rc i Rz zmieniających się od 0 - ∞. Przy średniej wytrzymałości cegły i marce zaprawy rosnącej od 0 - ∞ wzór (44) daje dużo mniejszą różnicę skrajnych wytrzymałości muru. Zmniejsza to bardzo możliwość dalszego wykorzystania cegły w murze, przy stosowaniu marek zapraw o większych wartościach wytrzymałościowych.

Tablica 64

Ekstremalne wartości teoretyczne Rm i R_m^n

Wytrzymałość muru według wzoru	Dla Rc		Dla Rz	
	0	∞	0	∞
Normowego R_m^n	0	∞	48,07	141,4
Autora R_m	0	∞	196,6	503,8

Badania przeprowadzono przy średniej wytrzymałości cegły na ściskanie wynoszącej Rc = 180 kG/cm^2. Jak widać z tablicy 38 i 39, wytrzymałość murów z cegły szybowej przy różnych markach zapraw była przeciętnie wyższa od wytrzymałości normowej o około 100%. Pragnąc więc znaleźć ogólną zależność wytrzymałościową dla murów z cegły marki 180 przeprowadzono rozważania jak w punkcie 2.4.1.1.

2.4.7.1. Dla układu jak na (rys. 16a)

Korzystając z tablicy 65 otrzymamy

$$A = Rc \frac{100 + Rc}{100 + 3{,}3\ Rc} = 180 \frac{100 + 180}{100 + 3{,}3 \cdot 180} = 84{,}7$$

Tablica 65

Wielkości potrzebne do obliczenia współczynnika korelacji ς

x_i	y_i	x_i-x_o	y_i-y_o	$(x_i-x_o)^2$	$(y_i-y_o)^2$	$(x_i-x_o)(y_i-y_o)$
0,2652	71	0,0245	- 37,62	0,0006	1415,25	- 0,9216
0,2631	108	0,0224	- 0,62	0,0005	0,38	- 0,0134
0,2438	118	0,0031	9,38	0,0000096	88,20	0,0291
0,2353	119,9	- 0,0054	11,28	0,000029	127,69	- 0,0609
0,2087	127,1	- 0,032	18,48	0,001	342,25	- 0,5920
0,2353	94,7	- 0,0054	- 13,92	0,000029	193,21	0,075
0,1923	165,6	- 0,0484	56,98	0,00234	3237,61	- 2,7312
0,2631	91,0	0,0224	- 17,62	0,0005	309,76	- 0,3942
0,2652	69,9	0,0245	- 38,72	0,0006	1497,69	- 0,9481
0,2352	121,0	- 0,0055	12,38	0,00004	153,76	- 0,0682
$\sum$ = 2,4072	1086,2	0	0	0,0056	8365,81	- 5,6255

$$x_o = 0{,}2407$$

$$y_o = 108{,}62$$

Współczynnik korelacji

$$\varsigma = \frac{-5{,}6255}{\sqrt{0{,}0056 \cdot 8365{,}81}} = -0{,}824$$

Współczynnik regresji

$$R = -0{,}824\sqrt{\frac{8365{,}81}{0{,}0056}} = -972{,}5$$

Równanie prostej regresji

$$y - 108{,}62 = -972{,}5\,(x - 0{,}2407)$$

$$y = 342{,}8\,(1 - 2{,}83\,x) \qquad (45)$$

Prawdopodobny błąd współczynnika korelacji określony wzorem (20) wyniesie

$$e_\varsigma = \pm 0{,}67\,\frac{1 - 0{,}824^2}{\sqrt{10}} = \pm 0{,}0675$$

Jak widać między zmiennymi x i y istnieje zależność - błąd 6,75%. Dla wartości A = 84,7 wzór na wytrzymałość muru otrzyma postać:

$$Rm = \frac{342{,}8}{84{,}7}\,Rc\,\frac{100 + Rc}{100 + 3{,}3\,Rc}\left(1 - \frac{0{,}2 \cdot 2{,}83}{0{,}3 + \frac{Rz}{2Rc}}\right)$$

$$Rm = 4{,}1\,Rc\,\frac{100 + Rc}{100 + 3{,}3\,Rc}\left(1 - \frac{0{,}566}{0{,}3 + \frac{Rz}{2Rc}}\right) \qquad (46)$$

Wykres (rys. 52) podaje zależność wzoru (46) i wzoru normowego (2) oznaczonego linią przerywaną. W tablicy 66 zestawiono podobnie jak przy murach z cegły pojedynczej ekstremalne wartości teoretyczne Rm i R_m^n dla Rc i Rz zmieniających się od 0 - ∞. Z tablicy 66 wynikają następujące wnioski ogólne:

1) przy wzroście wytrzymałości cegły Rc od 0-∞, wytrzymałość muru Rm również rośnie od 0-∞,

2) przy stałej wytrzymałości cegły i przy wytrzymałości zaprawy rosnącej od 0-∞ różnice wytrzymałości muru dla wzorów (46) i (2) wahają się w znacznie szczuplejszych granicach. Porównując wyniki obliczone na podstawie wzoru normowego (2) i wzoru (46) można wnioskować, że przy stałej wytrzymałości cegły i przy wytrzymałości zaprawy rosnącej od 0-∞ wzór (46) daje niedużą różnicę skrajnych wytrzymałości muru. Nie pozwala to na dużo większe wykorzystanie wytrzymałości cegły przy użyciu zapraw marek wyższych od stosowanych w badaniach. Rozważania te w zupełności zgadzają się z przeprowadzonymi obserwacjami podczas badania murów.

Tablica 66

Ekstremalne wartości teoretyczne Rm i R_m^n

Wytrzymałość muru według wzoru	Dla Rc		Dla Rz	
	0	∞	0	∞
Normowego R_m^n	0	∞	28,8	84,7
Autora R_m	0	∞	305	342,8

2.4.7.2. Dla układu jak na (rys. 16b)

Korzystając z tablicy 67 otrzymamy:

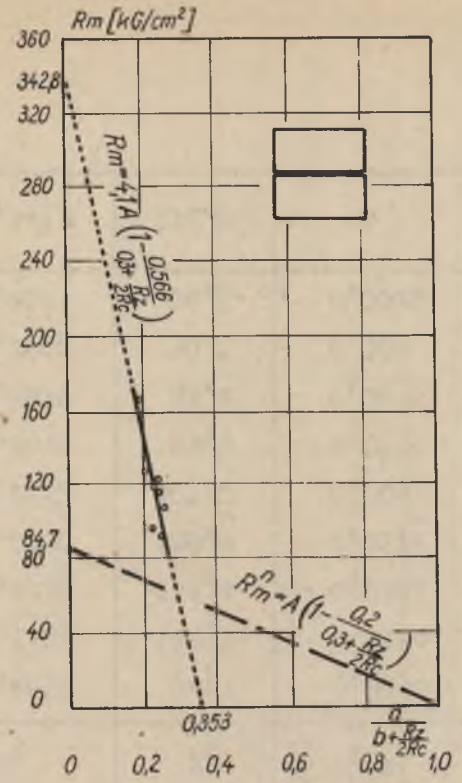
$$x_o = 0{,}2602$$

$$y_o = 103{,}7$$

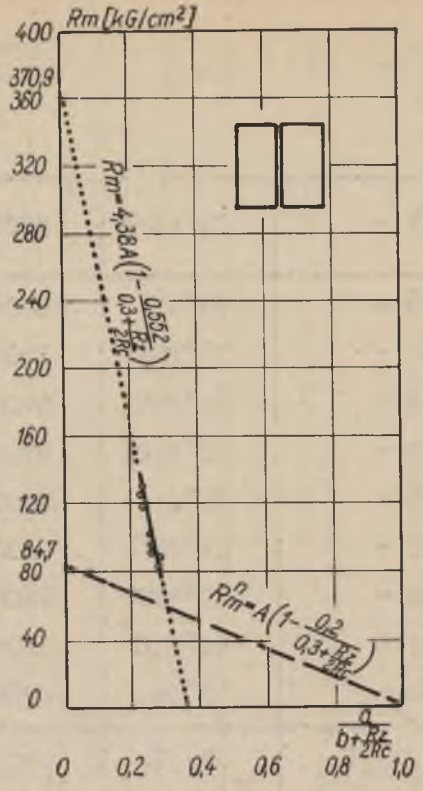
Tablica 67

Wielkości potrzebne do obliczenia współczynnika korelacji ξ

x_i	y_i	x_i-x_o	y_i-y_o	$(x_i-x_o)^2$	$(y_i-y_o)^2$	$(x_i-x_o)(y_i-y_o)$
0,2652	94,7	0,0050	- 9,0	0,000025	81,0	- 0,045
0,2438	118,3	- 0,0164	14,6	0,00027	213,16	- 0,239
0,2380	132,4	- 0,0222	28,7	0,00049	826,69	- 0,637
0,2380	128,0	- 0,0222	24,3	0,00049	590,49	- 0,539
0,2652	101,0	0,005	- 2,7	0,000025	7,3	- 0,0135
0,2817	89,0	0,0215	- 14,7	0,00046	216,09	- 0,316
0,2817	84,0	0,0215	- 19,7	0,00046	388,09	- 0,423
0,2642	90,1	0,005	- 13,6	0,000025	184,96	- 0,068
0,2631	96,5	0,0029	- 7,2	0,000008	51,84	- 0,021
Σ - 2,3419	934,0	0	0	0,00224	2559,62	- 2,301



Rys. 52. Wykres zależności między wartościami wytrzymałościowymi cegły, zaprawy i muru obudowy dla układu cegieł podwójnych jak nad wykresem - przy obciążeniu osiowym



Rys. 53. Wykres zależności między wartościami wytrzymałościowymi cegły, zaprawy i muru obudowy dla układu cegieł podwójnych jak nad wykresem - przy obciążeniu osiowym

Współczynnik korelacji

$$\xi = \frac{-2,301}{\sqrt{0,002 \cdot 2559,62}} = -0,958$$

Współczynnik regresji

$$R = -0,958 \sqrt{\frac{2559,62}{0,00224}} = -1026,97$$

Równanie prostej regresji

$$y - 103,7 = -1026,97\ (x - 0,2602)$$

$$y = 370,92\ (1 - 2,76\ x) \qquad (47)$$

Prawdopodobny błąd współczynnika korelacji z wzoru (47) wyniesie

$$e_{\xi} = \pm 0,67 \frac{1 - 0,958^2}{\sqrt{9}} = \pm 0,0178$$

Między zmiennymi x i y istnieje bardzo ścisła zależność - błąd 1,78%.

W ten sposób

$$Rm = \frac{370,92}{84,7} Rc \frac{100 + Rc}{100 + 3,3\ Rc} \left(1 - \frac{0,2 \cdot 2,76}{0,3 + \frac{Rz}{2Rc}}\right)$$

$$Rm = 4,38\ Rc \frac{100 + Rc}{100 + 3,3\ Rc} \left(1 - \frac{0,552}{0,3 + \frac{Rz}{2Rc}}\right) \qquad (48)$$

Tablica 68

Ekstremalne wartości teoretyczne Rm i R_m^n

Wytrzymałość muru według wzoru	Dla Rc		Dla Rm	
	0	∞	0	∞
Normowego R_m^n	0	∞	28,8	84,7
Autora R_m	0	∞	315	370,92

Tablica 69

Wielkości potrzebne do obliczania współczynnika korelacji ξ

x_i	y_i	x_i-x_o	y_i-y_o	$(x_i-x_o)^2$	$(y_i-y_o)^2$	$(x_i-x_o)(y_i-y_o)$
0,2652	78,8	0,0128	- 13,8	0,00016	187,69	- 0,1753
0,2631	88,5	0,0107	- 4,0	0,00011	16,0	- 0,0428
0,2702	76,3	0,0177	- 16,3	0,00031	262,44	- 0,2883
0,2702	76,6	0,0178	- 15,9	0,00031	252,81	- 0,2830
0,2438	101,1	- 0,0086	8,6	0,000074	73,96	- 0,0739
0,2297	108,3	- 0,0227	15,8	0,00077	249,64	- 0,3586
0,2247	118,1	- 0,0277	25,6	0,00077	655,36	- 0,6691
∑=1,7669	647,7	0	0	0,0025	1697,90	- 1,891

Tablica 70

Ekstremalne wartości teoretyczne Rm i R_m^n

Wytrzymałość muru według wzoru	Dla Rc		Dla Rz	
	0		0	
Normowego R_m^n	0		28,8	84,7
Autora R_m	0		253	300,5

Wykres (rys. 53) podaje zależność wzoru (48) i wzoru normowego (2), którego zależność podaje prosta kreskowana. W tablicy 68 zestawiono ekstremalne wartości Rm i R_m^n dla Rc i Rz zmieniających się od 0-∞. Na podstawie wartości podanych w tablicy 68 można wysnuć analogiczne wnioski ogólne jak z tablicy 66.

2.4.7.3. Dla układu jak na (rys. 16c)

Wykorzystując tablicę 69 otrzymamy:

$$x_o = 0,2524$$

$$y_o = 92,5$$

Współczynnik korelacji

$$\xi = \frac{-1,891}{\sqrt{0,0025 \cdot 1697,9}} = -0,918$$

Współczynnik regresji

$$R = -0,918 \sqrt{\frac{1697,9}{0,0025}} = -824$$

Równanie prostej regresji

$$y - 92,5 = - 824\ (x - 0,2524)$$

$$y = 300,5\ (1 - 2,74\ x) \qquad (49)$$

Prawdopodobny błąd współczynnika korelacji z wzoru (20) wyniesie:

$$e_{\xi} = \pm 0,67\ \frac{1 - 0,918^2}{\sqrt{7}} = \pm 0,040$$

Między zmiennymi x i y istnieje ścisła zależność - błąd 4%. Wzór na wytrzymałość muru posiada postać

$$Rm = \frac{300,5}{84,7}\ Rc\ \frac{100 + Rc}{100 + 3,3\ Rc}\ \left(1 - \frac{0,2 \cdot 2,74}{0,3 + \frac{Rz}{2Rc}}\right)$$

$$Rm = 3,54\ Rc\ \frac{100 + Rc}{100 + 3,3\ Rc}\ \left(1 - \frac{0,548}{0,3 + \frac{Rz}{2Rc}}\right) \qquad (50)$$

Wykres (rys. 54) podaje zależność wzoru normowego (50) i wzoru (2). W tablicy 70 zestawiono ekstremalne wartości Rm i R_m^n dla Rc i Rz zmieniających się od 0-∞. Śledząc wielkości tablicy 70 możemy wysnuć ogólne wnioski podobnie jak z tablicy 68.

2.4.7.4. Dla układu jak na (rys. 16d)

Zachowując tok rozważań jak w poprzednim punkcie oraz korzystając z tablicy 71 otrzymamy:

$$x_o = 0,2505$$

$$y_o = 101,5$$

Tablica 71

Wielkości potrzebne do obliczania współczynnika korelacji ś

x_i	y_i	x_i-x_o	y_i-y_o	$(x_i-x_o)^2$	$(y_i-y_o)^2$	$(x_i-x_o)(y_i-y_o)$
0,2652	91,2	0,0147	- 10,3	0,00022	106,09	- 0,1514
0,2631	96,5	0,0126	- 5,0	0,00016	25,0	- 0,0630
0,2438	111,6	- 0,0067	10,1	0,000045	102,01	- 0,0676
0,2353	108,6	- 0,0152	7,1	0,00023	50,41	- 0,1064
0,2248	109,5	- 0,0267	8,0	0,00071	64,00	- 0,2136
0,2652	90,5	0,0147	- 11,0	0,00022	121,00	- 0,1617
0,2438	110,9	- 0,0067	9,4	0,000045	88,36	- 0,0623
0,2631	93,2	0,0126	- 8,3	0,00016	68,89	- 0,1046
$\sum$-2,0043	812,00	0	0	0,0018	625,76	- 0,9306

Tablica 72

Ekstremalne wartości teoretyczne Rm i R_m^n

Wytrzymałość muru według wzoru	Dla Rc		Dla Rz	
	0	∞	0	∞
Normowego R_m^n	0	∞	28,8	84,7
Autora R_m	0	∞	100,1	223,4

Współczynnik korelacji

$$\xi = \frac{-0,9306}{\sqrt{0,0018 \cdot 625,76}} = -0,826$$

Współczynnik regresji

$$R = -0,826 \sqrt{\frac{625,76}{0,0018}} = -486,5$$

Równanie prostej regresji

$$y - 101,5 = -486,5\ (x - 0,2505)$$

$$y = 223,4\ (1 - 2,18\ x) \qquad (51)$$

Prawdopodobny błąd współczynnika korelacji z wzoru (20) wyniesie

$$e_\xi = \pm 0,67 \frac{1 - 0,826^2}{\sqrt{8}} = \pm 0,074$$

Tablica 73

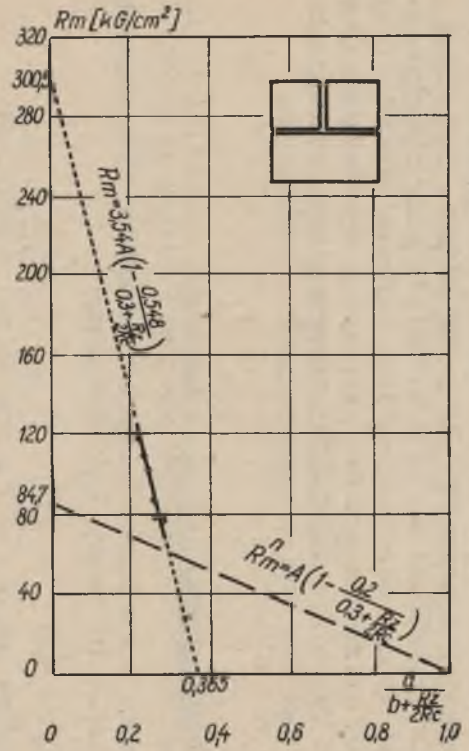
Wielkości potrzebne do obliczania współczynnika korelacji ξ

x_i	y_i	x_i-x_o	y_i-y_o	$(x_i-x_o)^2$	$(y_i-y_o)^2$	$(x_i-x_o)(y_i-y_o)$
0,1754	135,84	0,0187	- 38,6	0,00035	1497,6	- 0,721
0,1538	186,78	- 0,0029	12,3	0,0000084	151,3	- 0,035
0,1499	188,20	- 0,0068	13,7	0,000046	187,69	- 0,093
0,1538	181,00	- 0,0029	6,5	0,0000084	42,25	- 0,018
0,1550	179,80	- 0,0017	5,3	0,000003	28,09	- 0,009
0,1550	171,20	- 0,0017	- 3,3	0,000003	10,89	0,005
0,1550	179,0	- 0,0017	4,5	0,000003	20,25	- 0,007
$\sum$= 1,0979	1221,82	0	0	0,00042	1938,07	- 0,884

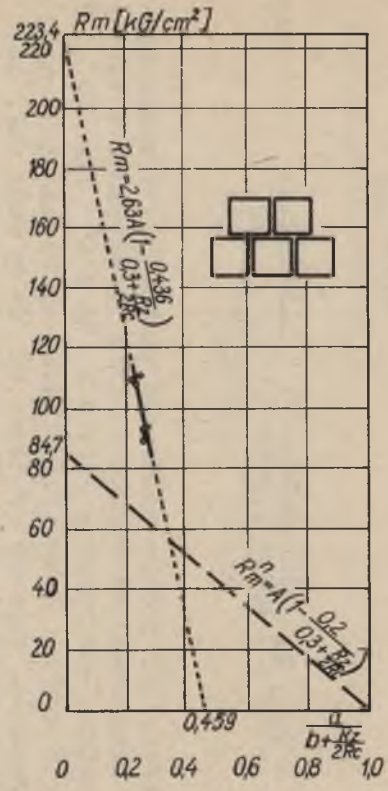
Tablica 74

Wielkośoi potrzebne do obliczania współczynnika korelacji ξ

x_i	y_i	x_i-x_o	y_i-y_o	$(x_i-x_o)^2$	$(y_i-y_o)^2$	$(x_i-x_o)(y_i-y_o)$
0,1550	147,9	- 0,0035	1,0	0,000012	1,0	- 0,0035
0,1550	151,6	- 0,0035	4,7	0,000012	22,09	- 0,0164
0,1754	123,5	0,0169	- 23,4	0,00028	547,56	- 0,3978
0,1499	169,9	- 0,0086	23,0	0,000074	529,00	- 0,1978
0,1538	161,7	- 0,0047	14,8	0,000022	219,04	- 0,0696
0,1480	154,4	- 0,0105	7,5	0,00011	56,25	- 0,0787
0,1770	117,8	0,0185	- 29,1	0,00034	846,81	- 0,5383
0,1538	149,0	- 0,0047	2,1	0,00002	4,41	- 0,0099
$\sum$ - 1,2679	1175,8	0	0	0,0009	2226,1	- 1,312



Rys. 54. Wykres zależności między wartościami wytrzymałościowymi cegły, zaprawy i muru obudowy dla układu cegieł podwójnych jak nad wykresem - przy obciążeniu osiowy



Rys. 55. Wykres zależności między wartościami wytrzymałościowymi cegły, zaprawy i muru obudowy dla układu cegieł podwójnych jak nad wykresem - przy obciążeniu osiowym

Między zmiennymi x i y istnieje zależność - błąd 7,4%. Wzór na wytrzymałość muru określa poniższa zależność

$$Rm = \frac{223.4}{84,7} Rc \frac{100 + Rc}{100 + 3,3 Rc} \left(1 - \frac{0.2 \cdot 2.18}{0,3 + \frac{Rz}{2Rc}}\right)$$

$$Rm = 2,63 Rc \frac{100 + Rc}{100 + 3,3 Rc} \left(1 - \frac{0,436}{0,3 + \frac{Rz}{2Rc}}\right) \qquad (52)$$

Wykres (rys. 55) podaje zależność wzoru (52) i wzoru normowego (2) oznaczonej na wykresie linią przerywaną. W tablicy 72 zestawiono ekstremalne wartości Rm i R_m^n dla Rc i Rz zmieniających się od 0-∞. Przy stałej wytrzymałości cegły i przy wytrzymałości zaprawy rosnącej od 0-∞ wzór (52) daje mniejszą różnicę skrajnych wytrzymałości, co rzutuje na stosunkowo małą możliwość dalszego wykorzystania wytrzymałości cegły.

2.4.8. Analiza wyników badań murów z betonitów

Badania przeprowadzone przy średniej wytrzymałości betonitów na ściskanie, wynoszącej Rc = 200 kG/cm^2. Jak widać z tablicy 40 wytrzymałość murów z betonitów przy różnych zaprawach jest wyższa od wytrzymałości normowej średnio o około 120%. W celu ustalenia ogólnej zależności wytrzymałościowej dla murów z betonitów marki 200 przeprowadzono analogiczne rozważania jak dla cegieł pojedynczych i podwójnych.

2.4.8.1. Dla układu jak na (rys. 17a)

Korzystając z wielkości podanych w tablicy 73 oraz wzorów w punkcie 2.4.1.1 i wzoru (3) otrzymamy:

$$B = Rc \left(0,33 + \frac{15}{Rc}\right) = 200 \left(0,33 + \frac{15}{200}\right) = 81$$

$$x_o = 0,1567$$

$$y_o = 174,5$$

Współczynnik korelacji

$$\xi = \frac{- 0,8847}{\sqrt{0,00042 \cdot 1938,07}} = - 0,978$$

Współczynnik regresji

$$R = - 0,978 \sqrt{\frac{1938,07}{0,00042}} = - 2087,4$$

Równanie prostej regresji ma postać

$$y - 174,5 = 2087,4 \ (x - 0,1567)$$

$$y = 501,6 \ (1 - 4,08 \ x) \qquad (53)$$

Prawdopodobny błąd współczynnika korelacji określony wzorem (20) wyniesie

$$e_\xi = \pm 0,67 \frac{1 - 0,978^2}{\sqrt{7}} = \pm 0,013$$

Jak widać między zmiennymi x i y istnieje ścisła zależność, której błąd wynosi 1,3%. Dla wartości B = 81 wzór na wytrzymałość muru wyniesie:

$$Rm = \frac{501,6}{81} Rc \ (0,33 + \frac{15}{Rc}) \ (1 - \frac{0,2 \cdot 4,08}{0,3 + \frac{Rz}{Rc}})$$

$$Rm = 6,19 \ Rc \ (0,33 + \frac{15}{Rc})(1 - \frac{0,816}{0,3 + \frac{Rz}{Rc}}) \qquad (54)$$

Wykres (rys. 56) podaje zależność wzoru (54) i wzoru normowego (3). Z tablicy 40 jak i z (rys. 61) wynika, że wytrzymałość murów uzyskana z badań jest wyższa od wytrzymałości normowej o przeszło 100%.

2.4.8.2. Dla układu jak na (rys. 17b)

Korzystając z wielkości podanych w tablicy 74 jak również z wzorów w punkcie 2.4.1.1 oraz z wzoru (3) otrzymamy:

$$x_o = 0,1585$$

$$y_o = 146,9$$

Współczynnik korelacji

$$\xi = \frac{-1,312}{\sqrt{0,0009 \cdot 22261,16}} = -0,929$$

Współczynnik regresji

$$R = -0,929\sqrt{\frac{22261,16}{0,0009}} = -1458,5$$

Równanie prostej regresji

$$y - 146,9 = -1458,5\,(x - 0,1585)$$

$$y = 378\,(1 - 3,85\,x) \qquad (55)$$

Prawdopodobny błąd współczynnika korelacji z wzoru (20) wyniesie

$$e_\xi = \pm 0,67\,\frac{1 - 0,929^2}{\sqrt{8}} = \pm 0,033$$

Między zmiennymi x i y istnieje zależność w której popełniony błąd wynosi 3,3%. Wzór na wytrzymałość muru określa poniższa relacja

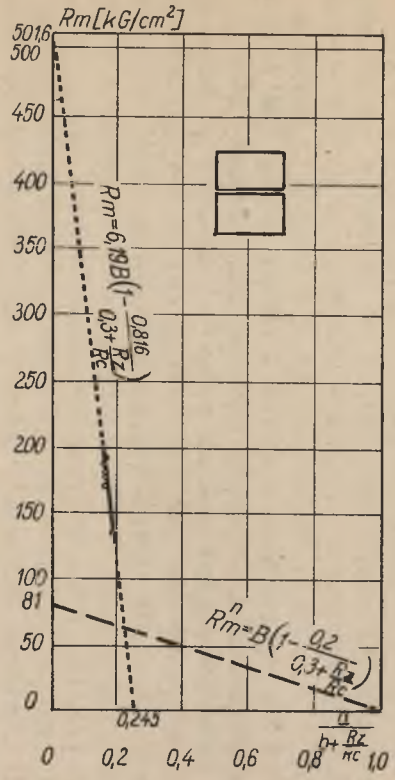
$$Rm = \frac{378}{81} Rc \left(0{,}33 + \frac{15}{Rc}\right)\left(1 - \frac{0{,}2 \cdot 3{,}85}{0{,}3 + \frac{Rz}{Rc}}\right)$$

$$Rm = 4{,}7\ Rc \left(0{,}33 + \frac{15}{Rc}\right)\left(1 - \frac{0{,}77}{0{,}3 + \frac{Rz}{Rc}}\right) \qquad (56)$$

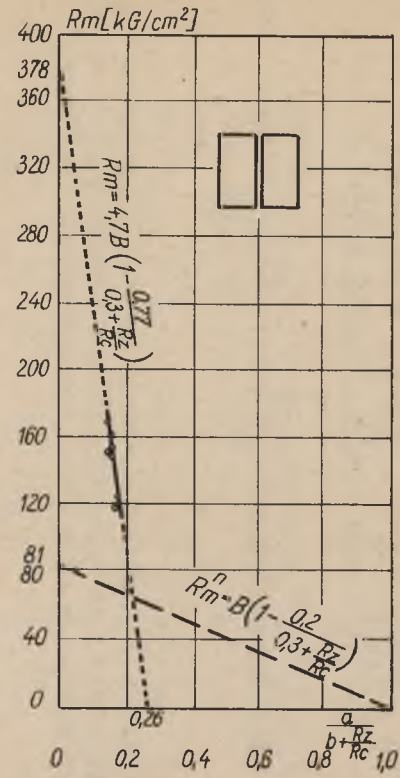
Wykres (rys. 57) ujmuje zależność wzoru (56) i wzoru normowego (3). Podobnie jak w punkcie 2.4.8.1 wytrzymałość uzyskana z badań jest wyższa w stosunku do wytrzymałości normowej o około 100%.

2.5. Porównanie wytrzymałości murów zbadanych z wytrzymałościami dotychczas przyjmowanymi dla murów wykonanych na zaprawie cementowej marki 80

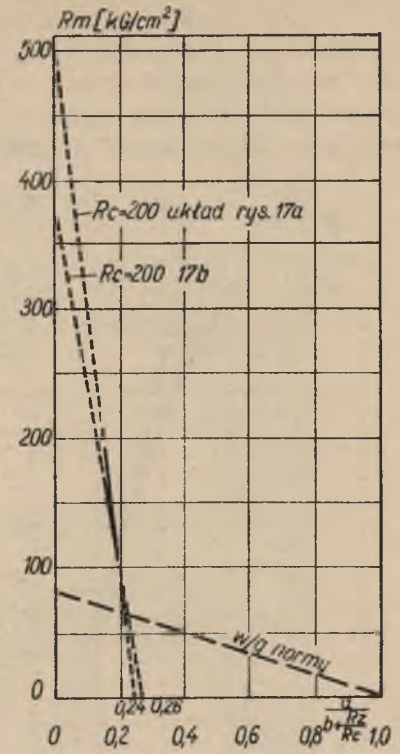
Porównując ze sobą (na wykresie (rys. 58)) wytrzymałości rodzajów zbadanych murów (rys. 15) wykonanych z cegły pojedynczej marki 250, z łatwością można stwierdzić, że wytrzymałości tych murów są znacznie wyższe - przeciętnie o około 60% od wytrzymałości murów wykonanych na zaprawie cementowej marki 80. Najbliżej wzoru normowego znajdują się mury o wiązaniu jak na (rys. 15f). Podobnie jak dla badanych murów z cegły marki 250, wytrzymałość murów z cegły marki 350 w stosunku do wytrzymałości normowej okazała się wyższa (dla wszystkich układów cegieł jak na rys. 15) średnio o około 65%. W celu zorientowania się jak kształtują się wytrzymałości murów wykonanych z cegły marki 350 na zaprawach marki 80 i zaprawach zaprojektowanych przez autora, zastosowanych w układach cegieł jak na (rys. 15); sporządzono wykres (rys. 59), z którego wynika, że najbardziej zbliżoną wytrzymałość do wytrzymałości normowej posiadały badane mury pokazane na (rys. 15f). Z otrzymanych badań wytrzymałości na ściskanie murów (rys. 16) wykonanych z cegły podwójnej na zaprawach cementowych wyższych marek opisanych w pracy wynika, że wytrzymałości te są wyższe w stosunku do normowych przeciętnie o około 100%.



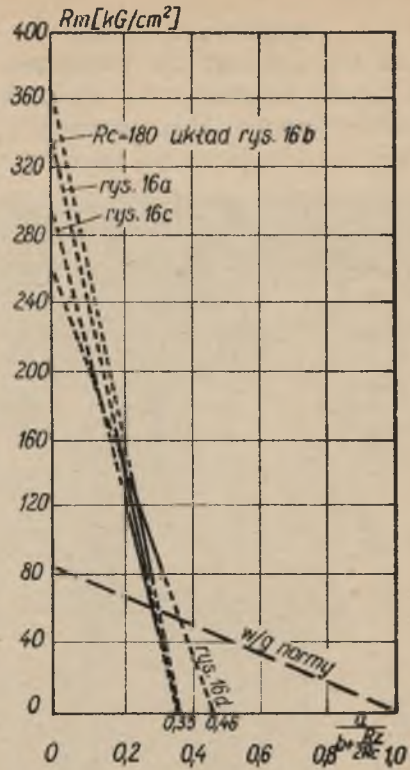
Rys. 56. Wykres zależności między wartościami wytrzymałościowymi betonitu, zaprawy i muru obudowy dla układu betonitów jak nad wykresem - przy obciążeniu osiowym



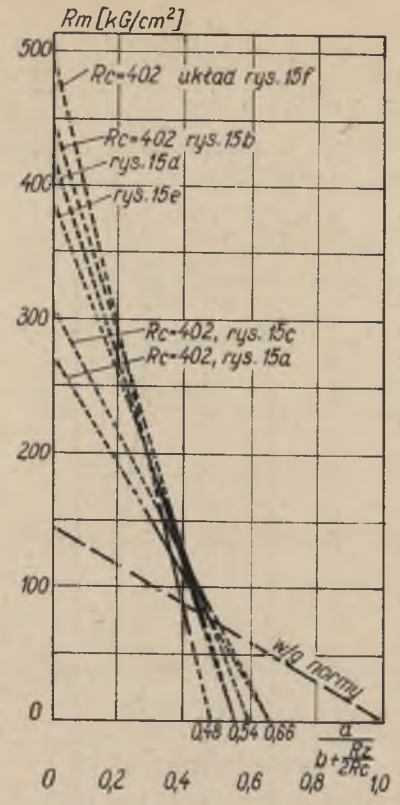
Rys. 57. Wykres zależności między wartościami wytrzymałościowymi betonitu, zaprawy i muru dla układu betonitów jak nad wykresem - przy obciążeniu osiowym obciążonych osiowo



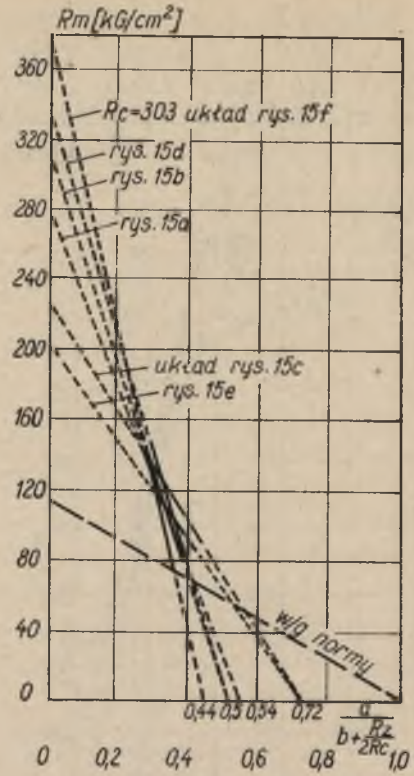
Rys. 58. Wykres porównawczy wytrzymałości murów obudowy wykonanych z cegły marki 250 na zaprawach marki 80 i nowych zaprawach - bardziej zbliżonych do wytrzymałośoi cegieł



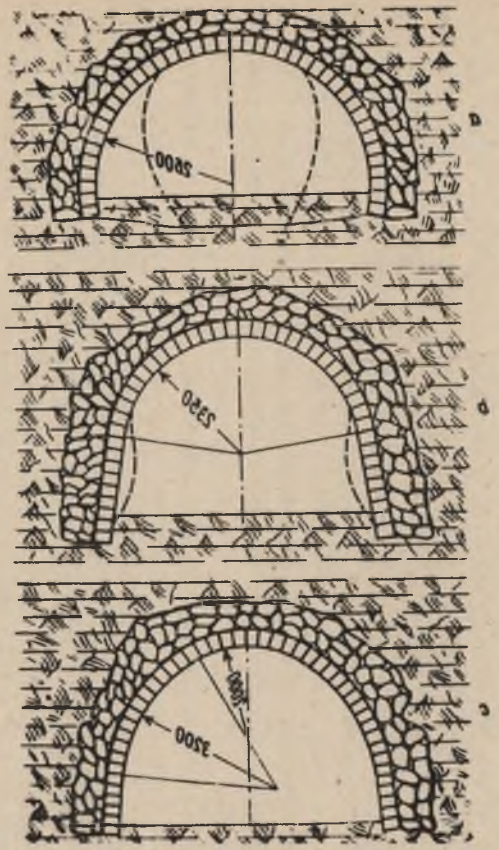
Rys. 59. Wykres porównawczy wytrzymałości murów obudowy obciążonych osiowo, wykonanych z cegły marki 350 na zaprawie marki 80 i podanych w pracy - bardziej zbliżonych do wytrzymałości cegieł



Rys. 60. Wykres porównawczy wytrzymałości murów obudowy obciążonych osiowo, wykonanych z cegły podwójnej na zaprawach marki 80 i bardziej zbliżonych do marki cegieł



Rys. 61. Wykres porównawczy wytrzymałości murów betonitowych obciążonych osiowo, wykonanych na zaprawie marki 80 i na markach bardziej zbliżonych do wytrzymałości betonitów



Rys. 62. Deformacje obudowy murowej w przekopie

Rys. 63. Uszkodzenie obudowy betonitowej w wyrobisku znajdującym się w górotworze objętym wpływami ciśnienia dynamicznego

Na wykresie (rys. 60) zestawiono przebieg wytrzymałości murów badanych (rys. 16) oraz wytrzymałości wynikających z normy. Z przebiegu prostych pokazanych na (rys. 60) wynika, że wytrzymałości murów badanych są do siebie zbliżone i wszystkie są znacznie wyższe od wytrzymałości normowych. Porównując na wykresie (rys. 61) wartości wytrzymałości murów betonitowych można wnioskować, że wytrzymałość murów wykonanych na zaprawach marek zbliżonych do wytrzymałości betonitów jest większa od wytrzymałości normowych średnio o około 140%. Spośród układów pokazanych na (rys. 17a i 17b) wytrzymałość układów betonitów (rys. 17b) jest bardziej zbliżona do wytrzymałości normowej.

2.6. Korzyści ekonomiczne dla przemysłu górniczego wynikające z podniesienia wytrzymałości murów obudowy ceglanej i betonitowej

Wykonywanie wyrobisk górniczych prawie zawsze związane jest ze stosowaniem w nich obudowy. Obudowa murowa wykonywana nawet w warunkach ciśnienia statycznego górotworu ulega deformacjom np. jak na (rys. 62). Ciśnienie dynamiczne ujawniające się w obrębie wyrobiska prowadzi do niebezpiecznych (nadmiernych) deformacji obudowy, przy których ona traci stateczność, co przykładowo pokazano na rys. 63.

Z kosztów wydatkowanych na wykonywanie wyrobisk górniczych znaczna część przeznaczona jest na obudowę. Koszt obudowy stosowanej w wyrobisku zależy od rodzaju i grubości oraz sposobu jej wykonania. Stosując przy wykonywaniu obudowy zaprawy wyższych marek uzyskuje się podniesienie wytrzymałości muru, a przez to obniżenie grubości obudowy w wyniku czego zmniejsza się przekrój wyrobiska w wyłomie. Wykonując obudowę np. z cegły marki 250, na zaprawie cementowej marki 210 uzyskuje się podobne naprężenia dopuszczalne jak dla betonu marki 170, a zatem i grubość obudowy z cegły zbliżoną do grubości obudowy betonowej.

Na podstawie powyższego przykładu, jak również dokonanej szerokiej analizy ekonomicznej dla obudów wykonanych na nowych zaprawach, (której w pracy nie podano z uwagi na jej objętość) z łatwością można stwierdzić, że stosowanie w wykonywanych murach ceglanych a także betonitowych zapraw wyższych marek przy wykonywaniu obudowy w obecności dużych ciśnień górotworu jest konieczne i ekonomicznie uzasadnione.

III. WNIOSKI

Na podstawie przeprowadzonych obserwacji rodzajów obudowy i ich zachowywania się w różnych wyrobiskach górniczych w kopalniach oraz podczas badań laboratoryjnych przeprowadzonych na modelach obudowy murowej, jak również w wyniku dokonanej analizy matematycznej można wyprowadzić wnioski końcowe, które ujęto w następujący sposób:

1. W budownictwie górniczym wyrobiska takie jak: szyby, szybiki, przekopy, przecznice, komory, podszybia, skrzyżowania, odgałęzienia, rozwidlenia, wyrobiska przyszybowe nierzadko wykonuje się w obudowie ceglanej, czy betonitowej.

2. Poszczególne elementy obudowy murowej (ceglanej, betonitowej) spaja się zaprawą cementową marki 80, co powoduje, że wytrzymałość muru jest kilkakrotnie mniejsza od wytrzymałości cegieł czy betonitów.

3. W obecnej chwili nie stosuje się jednak w budownictwie naziemnym, jak i podziemnym zaprawy wyższej marki niż 100.

4. W celu większego wykorzystania wytrzymałości prefabrykatów stosowanych na obudowę wyrobisk górniczych, autor uważa za konieczne i ekonomicznie uzasadnione stosowanie zapraw wyższych marek tj. zbliżonych lub równych wytrzymałości cegieł, czy betonitów.

5. Realizując postulat podany w punkcie 4 niniejszych wniosków, autor zaprojektował kilka rodzajów marek zapraw jak np. markę 150, 168, 190, 200, 215, 240, 260, które następnie zastosowano w czasie wykonywania poszczególnych murów przeznaczonych do badań wytrzymałościowych. Zastosowanie wymienionych marek zapraw w badanych murach umożliwiło prześledzenie wpływu marki zaprawy na ich wytrzymałość.

6. Cechy wytrzymałościowe zaprojektowanych zapraw między innymi moduł Yunga, liczba Poissona - posiadały wartości zbliżone do analogicznych uzyskiwanych w wyniku badania próbek betonowych o podobnych wytrzymałościach.

7. W celu ustalenia wytrzymałości murów (z cegieł i betonitów) stosowanych w budownictwie podziemnym kopalń wykonano na zaprawach wyższych marek dla każdego układu cegieł i betonitów średnio po trzy mury. Kształtowanie się wytrzymałości badanych murów można prześledzić wykorzystując w tym celu tablice od 32 do 40.

8. Stosując w murach z cegły pojedynczej zaprawy wyższych marek uzyskuje się podniesienie ich wytrzymałości w stosunku do murów wykonanych na zaprawie marki 80 średnio o około 60%. W murach z cegły podwójnej (szybowej) podniesienie wytrzymałości muru przy zaprawie marki 165 do 168 o około 45%, przy zaprawie marki 190 do 215 o około 80%, a przy zaprawie marki 240 do 268 o około 100% do 160%. W murach z betonitów, w których zastosowano marki zapraw od 166 do 210 uzyskano podniesienie ich wytrzymałości o około 140%.

9. Wskutek wypełnienia wolnej przestrzeni między wewnętrzną ścianką obudowy murowej, a ociosem wyrobiska; gruzem skalnym zalewanym zaprawą cementową stosowaną przy wznoszeniu murów uzyskuje się powiązanie obudowy z górotworem, a przez to usztywnienie jej ścian bocznych znacznie odporniejszych na wyboczenia. W wyniku tego zaprojektowana grubość obudowy (d) ulega powiększeniu przy równoczesnym wzroście jej wytrzymałości. Zjawisko to jest korzystne z uwagi na stateczność obudowy i jej właściwą (pożądaną) współpracę z górotworem. Z tych względów wykonawstwo dobrej podsadzki za obudową (gruz skalny + zaprawa) powinno być bardzo przestrzegane. Uzyskane wielkości wytrzymałości murów z badań laboratoryjnych i z wzorów Oniszczyka, Żenczykowskiego oraz autora - także dla murów wykonanych na zaprawach cementowych zbliżonych swą wytrzymałością do wytrzymałości prefabrykatów, w praktyce mogą być (z poprzednio podanych względów) przekraczane.

10. Stosowanie dotychczasowych wzorów Oniszczyka, czy Żenczykowskiego i Oniszczyka do określania doraźnej wytrzymałości murów ceglanych i betonitowych wykonanych na zaprawach wyższych marek daje wielkości odbiegające od otrzymanych w pracy. Skłoniło to autora do podjęcia próby wyprowadzenia nowych wzorów, dających wytrzymałości murów zbliżone do wielkości wynikających z badań. Stosując rachunek statystyczny wyprowadzono wzory na doraźną wytrzymałość muru dla każdego rodzaju wiązania elementów w murze i dla wszystkich stosowanych w badaniach prefabrykatów tj.: cegieł pojedynczych marki 250 i 350, cegieł podwójnych marki 180 oraz betonitów marki 200. Wielkości wytrzymałości uzyskane z badań, obliczone wzorem normowym (R_m^n) oraz wzorem własnym (Rm), a także porównanie wielkości wytrzymałości murów uzyskanych z badań z odpowiednimi wielkościami normowymi podano w tablicach od 32 do 40.

11. Pomimo, że na wytrzymałość muru w większym stopniu wpływa wytrzymałość prefabrykatów niż marka zaprawy to jednak ze wzrostem marki zaprawy uzyskuje się większe wykorzystanie tych prefabrykatów w murze.

12. Przy obliczaniu doraźnej wytrzymałości na ściskanie murów wykonanych na markach zapraw zbliżonych do wytrzymałości (marki (prefabrykatów) cegieł, betonitów) oraz w zależności od sposobu ich wiązania zaleca się stosować wzory podane w pracy.

13. W praktyce górniczej spotykamy się często, że obudowa cieńsza znosi ciśnienie górotworu większe aniżeli to wynika z obliczeń. Jest to przykładem, że wykonawstwo obudowy odbiegało od założeń branych pod uwagę przy jej projektowaniu. Powyższe może być także między innymi wynikiem wykonania zaprawy wyższej marki niż marka 80, a także wyższej w rzeczywistości marki cegły czy betonitu - co miało miejsce również w badaniach autora.

14. Dalsze badania autora przeprowadzane obecnie na modelach murowej obudowy szybów w aparaturze własnego pomysłu, zainstalowanej w Hali Technologicznej Wydziału Górniczego Politechniki Śląskiej, pozwalającej na badanie modeli obudowy wyrobisk górniczych o maksymalnych wymiarach np. średnicy do 2,5 m i wysokości 3 m, mają na celu zbadanie wytrzymałości całej konstrukcji obudowy stosowanej w różnych wyrobiskach górniczych.

LITERATURA

[1] Abramson Ch.I.: Technologia budowy i rodzaje obudowy szybów kopalń węgla w ZSRR. Biuletyn Informacyjny Zjednoczenia Budownictwa Górniczego Nr 3-6, Katowice, 1961 r.

[2] Borecki M., Neyman B.: Obudowa wyrobisk przygotowawczych i eksploatacyjnych. Obudowa kamienna. Poradnik Górnika T. II, cz. 1.

[3] Biarez J.: Mechanika gruntów. Wrocław - Warszawa - Kraków, Zakład Narodowy Imienia Ossolińskich Wydawnictwo PAN, Wrocław 1963 r.

[4] Borusiewicz W.: Konstrukcje budowlane. Wydawnictwo Arkady. Warszawa 1962 r.

[5] Borusiewicz W.: Konstrukcje prefabrykowane. Podstawy naukowe i konstrukcyjne. PWN, Kraków, 1955.

[6] Borusiewicz W.: Prostokątny wykres naprężeń jako podstawa obliczania przekrojów żelbetowych. Inżynieria i Budownictwo nr 1, 1951 r.

[7] Borusiewicz W.: Obliczanie betonowych i żelbetowych ław pod ściany konstrukcyjne. Inżynieria i Budownictwo. Nr 10, 1955 r.

[8] Brandt A., Thiel K.: Odkształcenia powolne betonu. Rozprawy Inżynierskie T. VIII, 1960.

[9] Bryła S., Suwalski L.: Beton i żelbet. Wydanie II. Warszawa 1954 r.

[10] Budzianowski Z., Król W.: O pewnym badaniu wytrzymałości betonu w istniejących słupach żelbetowych. Budownictwo Przemysłowe nr 10, 1957 r.

[11] Budzianowski Z.: Nieliniowy rozkład naprężeń w belkach żelbetowych. PWN, Kraków, Zeszyty Naukowe Politechniki Śląskiej, Budownictwo nr 1, 1956 r.

[12] Bukowski B.: Technologia betonów i zapraw ITB Gdańsk, 1954 r.

[13] Cebertowicz R.: Budowle hydrotechniczne w świetle doświadczeń na modelach. PAN Instytut Budownictwa Wodnego w Gdańsku, Warszawa 1958 r.

[14] Chudek M., Podgórski K.: Graficzno-analityczny sposób sprawdzania obliczeń obudowy murowej wyrobisk korytarzowych. Przegląd Górniczy nr 2, 1961 r.

[15] Chudek M.: Obudowa kombinowana wyrobisk pionowych. Przegląd Górniczy nr 12, 1961 r.

[16] Chudek M., Podgórski K.: Wyrobiska pionowe o średnicach większych od znormalizowanych średnic szybów. Zeszyty Naukowe Politechniki Śląskiej, Górnictwo. Z. 3, 1961 r.

[17] Chudek M.: Analiza techniczno-ekonomiczna różnych rodzajów obudów szybowych (betonowa, ceglana, betonitowa). Nie publikowane.

[18] Chudek M.: Przyczynek do zagadnienia współpracy obudowy tubingowo-betonowej. Archiwum Górnictwa z. 2, 1963 r.

[19] Chudek M.: Kilka uwag o projektowaniu obudowy górniczej w warunkach wodonośnych. Rudy Żelaza nr 7-8, 1963 r.

[20] Chudek M.: Zagadnienie grubości i stanu naprężeń kołowej obudowy betonowej szybów w zależności od ciśnienia wody przepływającej przez nią ruchem laminarnym. Archiwum Górnictwa z. 4, 1964 r.

[21] Chudek M.: Deformacje i wytrzymałość murów z cegły pojedynczej - w świetle badań laboratoryjnych. Zeszyty Naukowe Politechniki Śląskiej. Górnictwo, 1964 r. - w druku.

[22] Cimbarewicz M.: Rudnicznoje krepienije. Moskwa 1948 r.

[23] Detko W., Ziembroń W.: Rachunek prawdopodobieństwa w budowlach statycznych materiałów wiążących. Cement, Wapno, Gips. Nr 11, 1963 r.

[24] Dlin: Matematiczeska statistyka w technikie. Moskwa 1951 r.

[25] Domański H.: Ustalenie składu betonu o wysokiej wytrzymałości. Prace ITB Seria I. Nr 4. Materiały Budowlane i ich zastosowanie. Warszawa 1956 r.

[26] Dubnow W., Rossi D.: Gornoja krep. Rozdział II. Gornoje Djełc.

[27] Eimer C.: Reologiczna teoria wytrzymałości i jej zastosowanie do betonu. Rozprawy Inżynierskie t. 11, z. 4, 1963 r.

[28] Fiédorow S.A.: Prochodka i ugłubka wiertikalnych stwołow szacht obycznym sposobom. Moskwa 1954 r.

[29] Frenkiel U.M.: Ważniejsze materiały dlja prigotowlenja betonow i rastworow na stroitielstwie szacht. Uglotechizdat 1950 r.

[30] Galanka J.: Specjalna obudowa tymczasowa przy szybkościowym drążeniu chodników. Przegląd Górniczy, 1958 r.

[31] Galanka J.: Jak obliczać ciśnienie górotworu na obudowę szybów w skałach zwięzłych niezawodnionych. Drogi postępu w górnictwie t. I. Referaty zasadnicze. Warszawa 1956.

[32] Gastiew W.A.: Kratkij kurs soprtiwlenja materiałow. Moskwa 1959 r.

[33] Gołębiowski Z.: Wytrzymałość murów z cegieł pełnych i drążonych - w świetle badań dr inż. Dziedziula. Materiały Budowlane nr 1, 1955 r.

[34] Gross B.: Mathemátical structure ot the theories of wiscoelatisity. Paryż 1953 r.

[35] Iliew M., Popiwanow D.: Nowoczesne sposoby obudowy wyrobisk przygotowawczych i głównych w kopalniach N.R. Bułgarii. Przegląd Górniczy nr 11, 1962 r.

[36] Kacaurow I.H.: Kamiennaja krep, betonnaja i żelbetonnaja krep. Gornoje Dieło. Encyklopediczeskij sprawocznik. Moskwa 1958 r.

[37] Katalog typowych wyrobisk korytarzowych. Wydanie II. Z. 3, 4, 5, 6.

[38] Kluz T., Eyman E.: Projektowanie betonów. Warszawa 1954 r.

[39] Kobyliński A., Szymański E.: Materiały Budowlane. Łódź - Warszawa, 1961 r.

[40] Kopeljański C.D.: Beton dlja szachtnowo stroitielstwa. Citi Mup. 1955 r.

[41] Kopyczyński B., Fuksa M., Muszyński W.: Technologia betonów. Warszawa 1954 r.

[42] Kostrz J.: Wykonywanie wyrobisk. Cz. I. Głębienie szybów metodą zwykłą z powierzchni WGH Katowice, 1961 r.

[43] Ledwoń J.: Wyboczenie słupów bezprzekątniowych pozbawionych przepon poprzecznych. Streszczenie w wydawnictwie Komitetu Nauki PZITB i PAN, Zakopane, wrzesień 1958 r.

[44] Ledwoń J.: O racjonalne normy obciążeń obiektów przemysłowych. Budownictwo Przemysłowe. Nr 2, 1953 r.

[45] Ledwoń J.: Naprężenia w płytach okrągłych i ławach pierścieniowych wywołane wpływami niemechanicznymi. Inżynieria i Budownictwo nr 11, 1958 r.

[46] Ledwoń J.: O podstawach mechaniki eksperymentalnej. Sprawozdanie Gliwickiego Oddziału Towarzystwa Mechaniki Teoretycznej i Stosowanej. Gliwice - Częstochowa z. 1, 1959 r.

[47] Ledwoń J.: Uogólnienie równań różniczkowych odkształceń pierścienia sprężystego w ośrodku liniowym sprężystym. Zeszyty Naukowe Politechniki Śląskiej. Budownictwo nr 4, 1961 r.

[48] Lewicki B., Kukulski W., Pawlikowski J.: Ściany i słupy z betonu i muru obciążone mimośrodowo. Podstawy teoretyczne obliczeń PWN Warszawa 1962 r.

[49] Kramarjew B.N.: Betonity i betonitowaja krep. Metałłurgizdat 1944 r.

[50] Lewicki B.: W sprawie kształtu próbek do badań wytrzymałości betonu i miarodajnej wytrzymałości obliczeniowej. Inżynieria i Budownictwo rocz. XVII, nr 9, 1960 r.

[51] Lebda E.: Beton i technologia i wykonywanie. PWT. Warszawa 1953 r.

[52] Mendel J.: Les calculs en matiere de pressions de terrains. Revue de l'Industrie Minerale Vol. 41, Nos 1 et 4, 1959.

[53] Molisz R., Wielicka H.: Wpływ dodatku bentonitu na własności zapraw cementowych. Rozprawy hydrotechniczne z. 8, Gdańsk 1961 r.

[54] Olszak W.: O nowej metodzie pomiaru wytrzymałości na rozciąganie betonu. Inżynieria i Budownictwo. Warszawa 1954.

[55] Olszak W., Życzkowski M.: Podstawy teorii sprężystości ciał fizykalnie nieliniowych o strukturze niejednorodnej. Archiwum Mechaniki Stosowanej, Warszawa 1955, t. VII, z. 1.

[56] PN/B-12001.: Cegły budowlane pełne wypalane z gliny.

[57] PN/B-30000.: Cement portlandzki 250.

[58] PN/B-03002.: Konstrukcje murowe z cegły.

[59] PN/B-59-06714.: Kruszywo mineralne. Badania techniczne.

[60] PN-55/B-02009.: Obciążenie w obliczeniach statycznych.

[61] PN-58/B-32250.: Woda do celów budowlanych, wymagania techniczne dla wody do betonów i zapraw.

[62] PN-55/B-06250: Beton zwykły.

[63] Polakow: Gidrołgiczeskije rasczoty. Moskwa 1948 r.

[64] Pawłow K.: Raboty górnicze. PWT Katowice 1951 r.

[65] Pawłowicz K.: Specjalne metody głębienia szybów. Przegląd Górniczy nr 3, 1959 r.

[66] Paszkowski W.: Technologia Betonu. Wydanie 1, PWT Warszawa 1950.

[67] Paszkowski W.: Technologia Betonu. Wydanie 2, PWT Warszawa 1953 r.

[68] Pokrowskij N.M.: Głębienie szybów pionowych zwykłymi sposobami. WGH Katowice 1954 r.

[69] Powers T.C.: Ćwierć wieku podstawowych badań betonu. Skokie, Illionis, USA. Cement, wapno, Gips nr 7, 1961 r.

[70] Protodiakonow M.M.: Dawlenie gornych porod i rudnicznoje kreplenje. Cz. 1. Dawlenje gornych porod Gostechizdat, 1930 r.

[71] Rosek C.: Matematyczna postać liniowego pełzania betonu. Architektura i Budownictwo. Nr 4, 1961 r.

[72] Rotham: Der kornaufban hochwertigen Betons Betonsteinzetung nr 3, Wiesbaden 1952 r.

[73] Rusch H.: Researches toward a general flexural theory of structural concrete. JACI, VII.

[74] Sałustowicz A.: Mechanika górotworu. Katowice, 1955 r.

[75] Sałustowicz A.: Profil obudowy, a jej wytrzymałość. Przegląd Górniczy nr 4, 1949.

[76] Schaefer W.: Grundlagen des Betonformsteinausbaus. Glückauf nr 18, 1960 r.

[77] Slesariew W.D.: Kreplenje gornych wyrabotok. Moskwa 1952 r.

[78] Sterkowicz J.: Obudowa dołowa. Obliczenie obudowy szybów kopalnianych. Biuro Studiów i Projektów Typowych Górnictwa Węglowego. Katowice 1957 r.

[79] Stamatello H.: Budowle podziemne. PWN Łódź - Warszawa, 1960 r.

[80] Sterkowicz J.: Rachunek krakowianowy w zastosowaniu do obliczeń wieloprzegubowej obudowy łukowej w sprężystym środowisku. Węgiel Brunatny r. III, nr 3-4, 1961 r.

[81] Schafer B.: Schaden an Bauwerken. Oldenburg, München 1932 r.

[82] Szejchet M.N.: Dawlenja puszaszczich porod na krep podziemnych wyrabotok. Ugletiechizdat, 1955 r.

[83] Trudy Mieżdunarodnowo Simpoziuma: Prochodka szachtnych stwołow i tunnelej. Gosgortechizdat 1961 r.

[84] Zalewski F., Takuski S.: Zależność wytrzymałości muru od sposobu przewiązania cegieł. Przegląd Górniczy nr 9, 1959 r.

[85] Zalewski F.: Obudowa murowa (skrypt).

[86] Zalewski F., Pogany W.: Deformation of brick works due to sinking of fundattions. Roterdam 1938 r.

[87] Żenczykowski W.: Podstawy wytrzymałościowe obliczeń statycznych konstrukcji murowanych z cegły. Rozprawy Inżynierskie z. 14, Warszawa 1954 r.

[88] Żenczykowski W.: Budownictwo ogólne. T. I. Materiały i wyroby. Warszawa 1956.

ИССЛЕДОВАНИЯ ПО УСТОЙЧИВОСТИ КЛАДКИ ИЗ СБОРНЫХ ЭЛЕМЕНТОВ ПРИМЕНЯЕМЫХ В ПОДЗЕМНОМ СТРОИТЕЛЬСТВЕ

Содержание

Часто применяемые в подземном строительстве шахт крепления подземных выработок выполняется из кирпича марок 150, 250 и 350, бетонитов марок 250 и 200, двойных кирпичей (стволовых) марки 180, связываемых раствором марки 80. Применение в кирпичном креплении раствора марки 80-низкой в сравнении с прочностью кирпичей или бетонитов, решительно влияет на его устойчивость. Временное сопротивление крепления, например, из кирпича марки 150 равно 48 кГ/см^2, из кирпича марки 350 - 81 кГ/см^2, а для крепления из бетонитов марки 200 - 05 кГ/см^2. В наземном строительстве, а также и в подземном до сих пор не применялось в большинстве случаев растворов высших марок чем 80 и 00.

В горном строительстве, где на крепление имеют влияние большие давления горного массива, применяются большей частью кирпичи марок 250 и 350 а также бетониты марки 200. Затем, целесообразно применение в кирпичном креплении растворов высших марок, близких к маркам кирпичей и бетонитов.

В настоящей разработке на основании многочисленных наблюдений постройки и поведения кирпичного крепления в горных выработках, а также ссылаясь на многолетние исследования, разработано несколько растворов высших марок, определяя свойства их устойчивости. Кроме того, испытано наиболее часто выступающие в горной промышленности при изготовлении крепления системы кирпичей и бетонитов, связанных предварительно растворами высших марок, например, растворами марок 160, 190, 200, 210, 240, 260. Испытывая системы сборных элементов (кирпичей, бетонитов), главным образом применяемые в горном креплении, изготовленных на вышеуказанных растворах, получено повышение из устойчивости - что подтвердило полезное и большое влияние новых растворов на прочность кирпичной крепи.

На основании анализа результатов исследований и анализа стандартных формул PN/B-182 выведено формулы на временное сопротивление стены крепления для испытанных систем из сборных элементов, как показано на рис. (15, 16, 17).

Полученные на основании исследований и математического анализа прямые представляют зависимость прочности стен ($y=Rm$) от переменного (x) - зависимого от марки сборного элемента и марки раствора.

Временное сопротивление стен крепления в зависимости от системы кирпичей и бетонитов можно определить при помощи представленных формул, которые в обобщении принимают вид:

для крепления из кирпичей
$$R_m = c \cdot A \cdot \left[1 - \frac{0{,}2 \cdot b}{0{,}3 + \frac{Rz}{2Rc}}\right] \qquad (1)$$

для крепления из бетонитов
$$R_m = c \cdot B \cdot \left[1 - \frac{0{,}2 \cdot b}{0{,}3 + \frac{Rz}{2Rc}}\right] \qquad (2)$$

где: A, B - величины постоянные для одного рода сборных элементов

$$A = R_0 \left[\frac{100 + R_g}{100 + 3,5\, R_0} \right] \quad (3) \qquad B = R_0 \left[0,33 + \frac{12}{R_0} \right] \quad (4)$$

R_0 – марка кирпича, бетонита,

R_g – марка раствора,

a,b – переменные зависимые от системы кирпичей, бетонитов, а также от марки применяемого раствора.

Для системы стен крепления:

а) из одинарного кирпича марки 250, A = 111,8 b = 1,38-2,88, a = 1,81÷3,4
б) " " " " 350, A = 141,4 b = 1,48-2,09, a = 1,96÷3,9
в) " двойного " " 180, A = 84,7 b = 2,18-2,83, a = 2,83÷4,38
г) " бетонитов марки 200, B = 81 b = 3,85-4,08, a = 4,87÷6,19

Предпринимая настоящую работу имелось в виду увеличить устойчивость кирпичного крепления, а тем самым получить меньшую толщину креплений и меньшее сечение в пролете.

Проблема изготовления крепления и сечения выработки в проломе особенно важна при больших давлениях горного массива, в котором, выполняя более тонкое крепление получается большие экономические эффекты из-за экономии, вытекающей из изготовления крепи и отбойки породы.

Как показали исследования и математический анализ – на устойчивость стены влияет главным образом род и качество сборного элемента, т.е. кирпича, бетонита. Марка раствора имеет тоже большое влияние на повышение прочности стены крепления, в частности при применении больших сборных элементов, например, бетонитов.

Принимая в испытываемых системах стен растворы марок 160 до 260, получено повышение устойчивости крепи из кирпича марок одинарной и двойной (по отношению к устойчивости крепи, изготовленной на растворе марки 80, расчитанной по стандартной формуле) в среднем на около 60%, из бетонитов – на около 150%.

В работе испытано модуль юнга и сжимающие напряжения образцов новых растворов и систем из сборных элементов, изготовленных на этих растворах. Для того, чтобы показать весь объем проблемы прочности стен крепления из сборных элементов, применяемых в горной промышленности, проведено сопоставление размеров сопротивления полученных для стен, изготовленных на растворах высоких марок и на растворах существовавших до сих пор, марки 80.

Характеризовано также выгоды для горной промышленности, вытекающие из повышения прочности стен кирпичного и бетонитного креплений.

В работе приведены характерные эпюры и таблицы, полученные из исследований и математических рассуждений, а также поданы выводы.

INVESTIGATIONS ON THE ENDURANCE OF PREFABRICATS USED IN THE UNDERGROUND BUILDING OF MINES

The grassplot of mining excavations used in the underground building of mines is made of bricks marked 150, 250, 350, concrete elements marked 250 and 200 and of double brikes (shaft bricks) marked 180, joint one an other by the mortar 80.

The mortar 80 when applied to the grassplot being very low in respect to the bricks strength or strengt of concrete elements, determines to a high degree its structural endurance. Average strength of the grassplot, made for example from bricks 150 - make, amounts to 48 kg/sq cm, of bricks 350 - 81 kg/sq cm and of concrete elements 200-105 kg/sq cm.

So far in the overground as well as in the underground building the mortar higher than 80 and 100 - make are not used.

In the mining building, where the grassplot is exposed to the large pressure of rocks, usually the bricks 250 and 350 - make and concrete elements 200 are used. Therefore the use of higher marked mortars aproximate to the quality of bricks or concrete elements would be purposeful.

In present report on a basis of several observations on the preparation of the grassplot and its behaviour in the mining excavation as well as on the basis of our own investigations of many years, several higher marked mortars were elaborated also as their endurance and features determined. In addition the most frequently meeting in the mining at the grassplot execution systems were proved of bricks and concrete elements, previously joint with mortars as high as 160, 190, 200, 210, 240, and 260.

Testing prefabricats (brikes, concrete elements) systems the most used, which were prepared with the mortars above mentioned, the endurance increase of them was found, therefore an advantageous and important effect of new mortars on the grassplot endurance was proved.

Analysing the results obtained also as standart formulae PN/B-182, formulae were derived for the average endurance of grassplot for the fabricats systems investigated. (Fig. 15, 16, 17).

The curves obtained on a basis of experiments and mathematical analysis show the relation between grassplot endurance (y = Rm) and variable (x) relative to the prefabricats and mortars makes.

The grassplot endurance relative to the bricks and concrete elements systems may be determined by means of formulae in the general form:
for the bricks grassplot

$$Rm = c \cdot A \cdot \left(1 - \frac{0.2 \cdot b}{0,3 + \frac{Rz}{2Rc}}\right.$$

for the concrete element grassplot

$$Rm = c \cdot B \cdot \left(1 - \frac{0.2 \cdot b}{0,3 + \frac{Rz}{2Rc}}\right.$$

where A, B - constants for the one type of prefabricats

$$A = Rc \left(\frac{100 + Rc}{100 + 3,3\ Rc}\right)$$

$$B = Rc\left(0,33 + \frac{15}{Rc}\right)$$

Rc - make of bricks or concrete element

Rc - make of mortar

c,b - variables dependent on bricks or concrete elements system as well as on mortar make used.

For the wall of grassplot system:

a) of single brick 250 - make, A = 111,8 , b = 1,38 ÷ 2,88 c = 1,81 ÷ 3,4,

b) of single brick 350 - make, A = 141,4 . b = 1,48 ÷ 2,09 c = 1,96 ÷ 3,9,

c) of double brick 180 - make, A - 84,7 . b = 2,18 ÷ 2,83, c = 2,63 ÷ 4,38,

d) of concrete elements 200 - make, B = 81, b = 3,85 ÷ 4,08 c = 4,07 ÷ 6,19.

The purpose of present work was to increase the grassplot endurance and thus to obtain a thinner linen of brow (mining excavations) and a smaller cross-section of them in the breach.

The problem of grassplot execution also as of cross-section of brow is especially important in the case of large pressures of rocks; using a thinner grassplot the large economic gains are obtained in regard of lower costs of building and of greater yield.

From experiments and mathematical analysis it is seen that the wall endurance is mostly affected by the type and quality of prefabricats i.e. bricks, concrete elements. The mortar make has also an important effect on the increase of grassplot endurance, in particular with the use of the large prefabricats for example concrete elements.

Using in the wall systems investigated the mortars 160 to 260 - make, the increase of endurance of the grassplot of bricks of single and double makes is obtained of about 60%, of concrete elements of about 150% (relative to the endurance of grassplot made with the mortar 80). These calculations were based on the standart formula.

In this work Young modulus was tested as well as constructing strains in samples of new mortars and prefabricats systems, made with these mortars.

For illustration of the whole problem concerning the endurance of grassplot walls made of prefabricats used in mining, the comparison was carried out between the endurance values obtained for the walls made with the higher-make mortars and with the previous lower ones, 80 - make.

Advantages were also characterised for the mining industry which result in the endurance increase of walls of brick or concrete elements grassplots.

In the work diagrams are given and tables, obtained from experiments and mathematical considerations and also conclusions were drawn.

ZESZYTY NAUKOWE POLITECHNIKI ŚLĄSKIEJ
ukazują się w następujących seriach:

A. AUTOMATYKA
B. BUDOWNICTWO
Ch. CHEMIA
E. ELEKTRYKA
En. ENERGETYKA
G. GÓRNICTWO
IS. INŻYNIERIA SANITARNA
MF. MATEMATYKA-FIZYKA
M. MECHANIKA
NS. NAUKI SPOŁECZNE

Dotychczas ukazały się następujące zeszyty serii G:

Górnictwo z. 1, 1956 r., s. 134, zł 20,—
Górnictwo z. 2, 1959 r., s. 96, zł 17,10
Górnictwo z. 3, 1961 r., s. 130, zł 21,—
Górnictwo z. 4, 1962 r., s. 134, zł 10,95
Górnictwo z. 5, 1963 r., s. 158, zł 11,90
Górnictwo z. 6, 1963 r., s. 154, zł 8,50
Górnictwo z. 7, 1963 r, s. 129, zł 6,80
Górnictwo z. 8, 1964 r., s. 175, zł 10,20

BIBLIOTEKA GŁÓWNA
Politechniki Śląskiej
P. 3352/64/10