ZESZYTY NAUKOWE POLITECHNIKI ŚLĄSKIEJ 1969
Seria: GÓRNICTWO z. 41 Nr kol. 269

Mgr inż. Łucja Pęciak

NIENISZCZĄCE BADANIE WYTRZYMAŁOŚCI OBUDOWY GÓRNICZEJ W ŚWIETLE BADAŃ LABORATORYJNYCH

Streszczenie: W artykule poruszono zagadnienie badania wytrzymałości górniczej obudowy murowej, przy pomocy fal akustycznych. Dotychczasowe metody określania wytrzymałości murowej obudowy górniczej (w danym wyrobisku) wymagały wycięcia jej fragmentu a następnie poddanie go badaniom. Badanie takie związane jest z uszkodzeniem obudowy. Nowa metoda pozwala określić wytrzymałość jej bez zniszczenia. Podano wzory przy pomocy których można obliczyć w przybliżeniu wytrzymałość obudowy murowej wykonanej z cegły zwykłej i zaprawy cementowej (cement portlandzki 250).

Wiadomo, że wyrobiskach górniczych zależnie od budowy geologicznej górotworu, lokalizacji, przeznaczenia oraz od wymiarów wyrobiska, a także w celu utrzymania ich minimalnego przekroju poprzecznego wykonuje się obudowę.

Obudowa wyrobisk górniczych może być wykonana z różnych materiałów. Może być murowa, betonowa, metalowa, drewniana, mieszana itp.

Wytrzymałość obudowy zależy od rodzaju zastosowanej cegły rodzaju zaprawy użytej do murów, grubości spoin, wiązania, warunków hydrogeologicznych panujących w górotworze itd. Zwykle wytrzymałość obudowy określa się przy pomocy wzoru Oniszczyka (PNB-182):

$$R_m^n = R_o \frac{100 + R_o}{100 + 3{,}3\, R_o} \cdot \left(1 - \frac{0{,}2}{0{,}3 + \frac{R_z}{2\, R_o}}\right)$$

gdzie:

R_m^n - wytrzymałość doraźna muru określona wzorem normowym

R_c - wytrzymałość doraźna cegieł na ściskanie

R_z - marka zaprawy (wytrzymałość doraźna na ściskanie).

W artykule niniejszym omówiono przeprowadzone badania wytrzymałości obudowy murowej wykonanej z cegły zwykłej. Do badań zastosowano cegłę zwykłą pełną (klasa 150) o wytrzymałości R_c = 150 kG/cm^2 i o wiązaniu pokazanym na rys. 1.

Do obudowy zastosowano zaprawę cementową, której spoiwo stanowił cement portlandzki 250. Zastosowane do badań kruszywo to zespół ziarn pochodzenia naturalnego, którego średnica wahała się w granicach 1-4 mm. Przyjęte do badań uziarnienie kruszywa przedstawiono na rys. 2.

W tablicy 1 przedstawiono procentowy skład frakcji kruszywa użytego do zapraw.

Zaprawę wykonano w stosunku wagowo-objętościowym. Stosunek cementu do piasku przyjęto jak 1:2, 1:3, 1:4.

Przeciętną ilość składników które zużyto na wykonanie 1 m^3 gotowej zaprawy przedstawiono w tablicy 1.

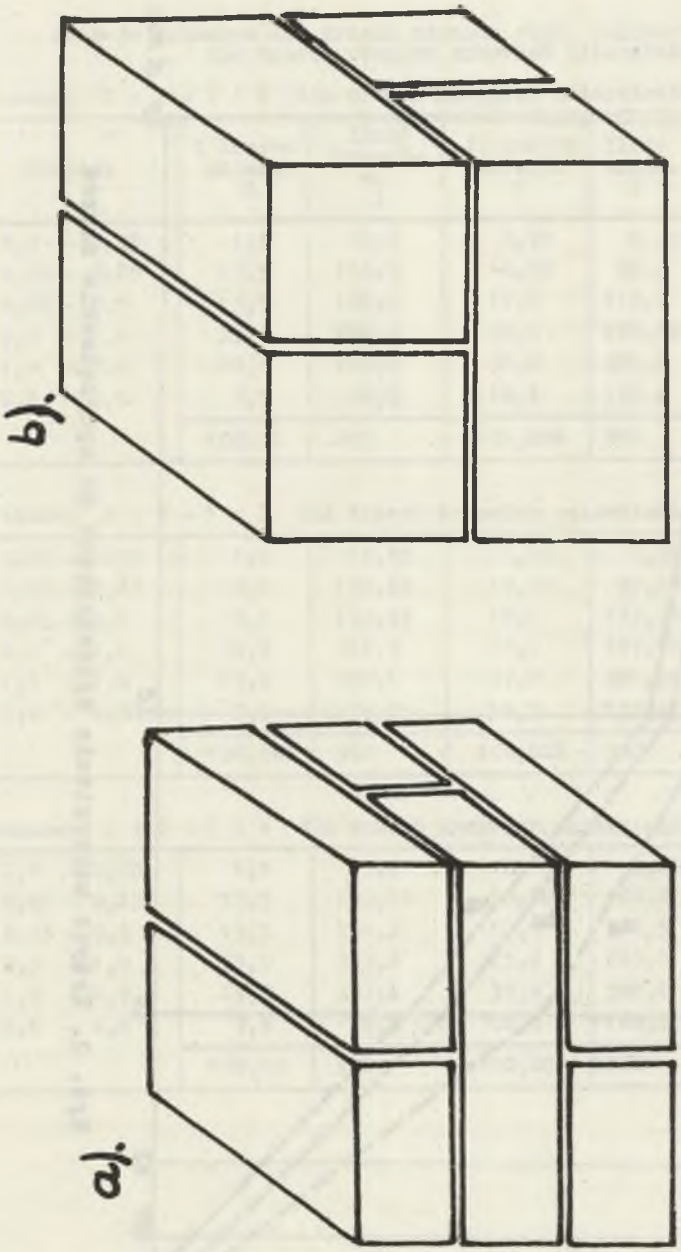
Tablica 1

Ilość zużytych składników na 1 m^3 zaprawy

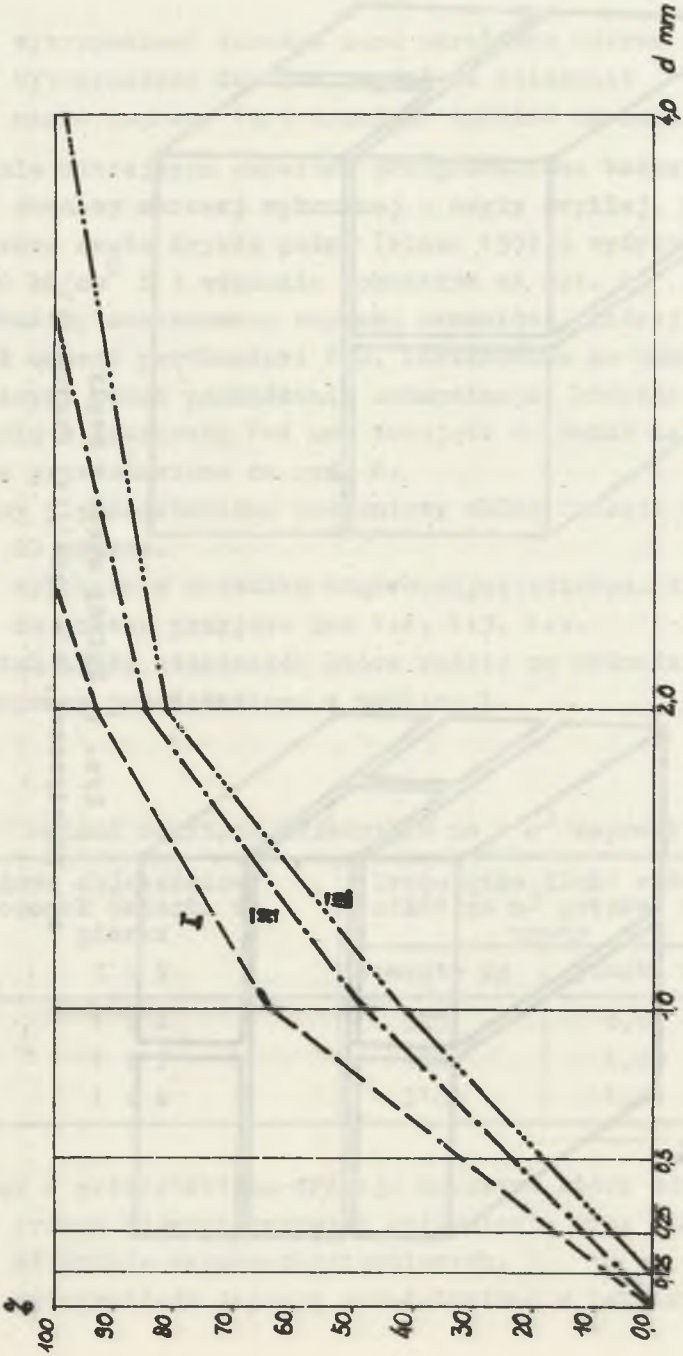
Wagowo objętościowy stosunek cementu do piasku	Przeciętna ilość składników na m^3 gotowej zaprawy		Wody
C : P	cementu Kg	piasku m^3	l
1 : 2	525	0,87	270
1 : 3	400	1,00	230
1 : 4	310	1,03	220

W tablicy 2 przedstawiono frakcje kruszywa które użyto do badań dla trzech różnych krzywych uziarnienia oraz dla trzech różnych stosunków wagowo-objętościowych.

Średnią wytrzymałość zaprawy przedstawiono w tablicy 3.



Rys. 1. Układy murów z cegły
a – pojedynczej, b – podwójnej (szybowej)



Rys. 2. Krzywe uziarnienia wykorzystane do sporządzenia zapraw

Tablica 2

Frakcje kruszywa dla trzech różnych stos. wagowo-objętościowych dla trzech różnych krzywych uziarnienia

Frakcje	I krzywa uziarn. %	Ilość kruszywa l	II krzywa uziarn. %	Ilość krusz. l	III krzywa uziarnienia %	Ilość krusz. l
Stosunek C : P = 1 : 2 dla trzech krzywych uziarnienia						
0,0 - 0,05	1,5	13,2	0,00	0,00	0,00	0,00
0,05 - 0,25	13,5	118,8	10,00	88,0	6,00	52,8
0,25 - 0,5	15,5	136,4	12,5	110,0	11,5	101,2
0,5 - 1,0	33,0	290,4	25,0	220,00	33,0	290,4
1,0 - 2,0	29,0	255,2	37,0	325,6	31,0	272,8
2,0 - 4,0	7,5	66,0	18,5	136,4	18,5	162,8
	100,0%	880	100,00%	880	100,00%	880
Stosunek C : P = 1 : 3 dla trzech krzywych uziarnienia						
0,00 - 0,05	1,5	14,85	0,00	0,00	0,00	0,00
0,05 - 0,25	13,5	133,65	10,00	99,00	6,0	59,4
0,25 - 0,5	15,5	153,45	12,5	123,75	11,5	113,8
0,5 - 1,0	33,0	326,7	25,0	247,50	33,0	326,7
1,0 - 2,0	29,0	287,1	37,0	366,30	31,0	306,95
2,0 - 4,0	7,5	74,25	18,5	153,45	18,5	183,15
	100,00%	990	100,00%	990	100,00%	990
Stosunek C : P = 1 : 4 dla trzech krzywych uziarnienia						
0,0 - 0,05	1,5	15,9	0,00	0,00	0,00	0,00
0,05 - 0,25	13,5	143,10	10,00	106,0	6,00	63,6
0,25 - 0,5	15,5	164,3	12,5	132,5	11,5	121,9
0,5 - 1,0	33,0	359,8	25,0	265,0	33,0	349,8
1,0 - 2,0	29,0	307,4	37,0	392,2	31,0	328,6
2,0 - 4,0	7,5	79,5	18,5	164,3	18,5	196,1
	100,0%	1060	100,00	1060	100,00	1060

Tablica 3

Średnia wytrzymałość zapraw na ściskanie

Lp.	Marka cementu	Stos. C : P	Wytrzymałość próbki (średnia) na zniszczenie w kG/cm^2	Średnica próbki mm
1	250	1 : 2	148,27	160
2	250	1 : 2	121,33	160
3	250	1 : 2	145,95	160
4	250	1 : 3	138,98	160
5	250	1 : 3	129,4	160
6	250	1 : 3	131,68	160
7	250	1 : 4	126,66	160
8	250	1 : 4	120,83	160
9	250	1 : 4	124,15	160

Z cegły oraz przygotowanej uprzednio zaprawy wykonano murki wzorcowe, które następnie poddawano badaniom. Murki poddawane zostały osiowemu obciążeniu i badano je przy pomocy fal ultradźwiękowych. Do badań użyto betonoskop typu BJ-8-RU, którego zasada działania oparta jest na wprowadzeniu do danego badanego elementu impulsów akustycznych oraz na pomiarze czasu ich przebiegu na znanej drodze od głowicy nadawczej do odbiorczej. Niektóre wyniki badań przedstawiono w tablicy 4.
W celu porównania metody ultradźwiękowej z dotychczas stosowanymi metodami, zastosowano do badań prasy hydrauliczne gdzie poddawane zostały również osiowemu obciążeniu, podobnie jak [1]. W celu śledzenia odkształceń potrzebnych do ustalenia modułu Younga zainstalowano w prasie czujniki mechaniczne. Średnią wytrzymałość niektórych murków wzorcowych przedstawiono w tablicy 3.
Z tablicy 3 wynika, że wytrzymałość poszczególnych próbek jest różna. Zależy ona od rodzaju zastosowanej zaprawy - co potwierdza poprzednio badania wykonane przez Doc. dr M. Chudka. Widać, że im wyższa jest marka zaprawy tym wytrzymałość jest większa.

Tablica 4

Prędkość rozchodzenia się fali ultradźwiękowej w obudowie górniczej

Lp.	Cement	C : P	Doraźna wytrzym. na ścisk.	Czas przejścia fali. ultr. t w(s)	Prędkość rozchodzenia się fali ultradźwięk. v w (m/s)
1	250	1:4	116	225,2	1110
2	250	1:4	71	224,8	1090
3	250	1:4	95	221,2	1130
4	250	1:4	100	233,9	1060
5	250	1:4	80	219,3	1140
6	250	1:4	105	231,5	1080
7	250	1:3	120	145,9	1700
8	250	1:3	110	152,12	1650
9	250	1:3	90	152,4	1640
10	250	1:3	125	147,06	1700
11	250	1:3	150	140,45	1780
12	250	1:3	125	142,29	1750
13	250	1:3	135	138,9	1800
14	250	1:3	100	153,7	1620
15	250	1:2	71	119,05	2100
16	250	1:2	110	116,27	2150
17	250	1:2	110	116,6	2240
18	250	1:2	125	110,66	2250
19	250	1:2	144	111,11	2250
20	250	1:2	137	116,43	2130
21	250	1:2	163	107,83	2300
22	250	1:2	119	107,76	2320
23	250	1:2	157	103,73	2410
24	250	1:2	140	108,69	2300
25	250	1:2	153	109,65	2280
26	250	1:2	130	108,69	2300
27	250	1:2	140	113,64	2200

Okazało się również, że murki wzorcowe poddawane osiowemu obciążeniu wykazywały różne prędkości rozchodzenia się fal ultradźwiękowych.

Z badań wynika, że prędkość rozchodzenia się fal sprężystych w obudowie górniczej murowej jest różna dla różnych rodzajów murów. Zależy ona od rodzaju zastosowanych cegieł, marek zapraw i waha się w granicach od około 1000 do około 4.600 m/s, co przedstawiono na rys. 3.
W tablicy 4 przedstawiono prędkość rozchodzenia się fal ultradźwiękowych w obudowie górniczej w zależności od wielkości zastosowanego obciążenia.

Określono łączny czas przejścia fali ultradźwiękowej przez dwa ośrodki. Jak wiadomo inny jest przejścia fali ultradźwiękowej w zaprawie, a inny przy przejściu fali przez cegłę. Znając prędkości rozchodzenia się fal w zaprawie można przy pomocy wzorów [11] obliczyć prędkość przebiegu fali w cegle:

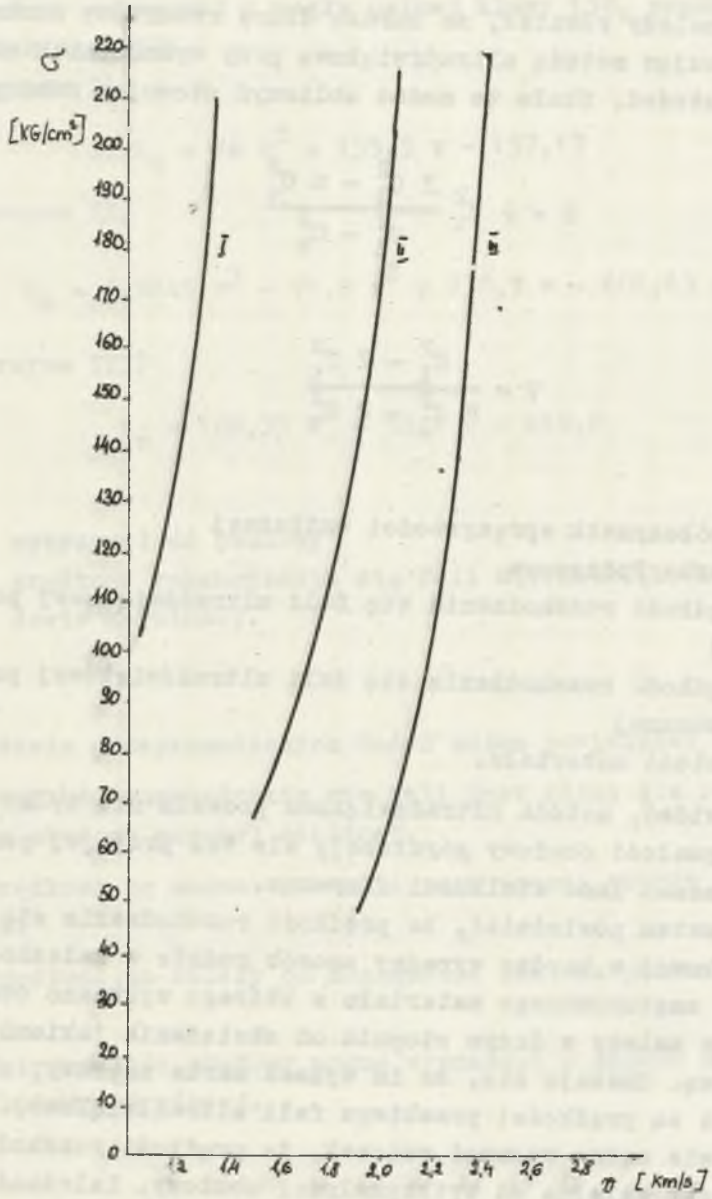
$$V_c = \frac{C_o}{\frac{C_o + Z_o}{V} - \frac{Z_o}{V_z}}$$

i wzorem

$$V_c = \frac{C_o}{t_m - \frac{Z_o}{V_z}}$$

gdzie:

C_o - sumaryczna grubość cegieł
Z_o - grubość zaprawy w spoinach
V - prędkość fali w murze
V_z - prędkość fali w zaprawie
V_c - prędkość fali w cegle
t_m - czas przejścia fali przez mur.



Rys. 3. Zależność między prędkością rozchodzenia się fal ultradźwiękowych a wytrzymałością obudowy murowej ceglanej

I - krzywa C:p = 1:4 cement 250, II - krzywa G:p = 1:3 cement 250, III - krzywa C:p = 1:2 cement 250

Podkreślić należy również, że bardzo dobre rezultaty można uzyskać stosując metodę ultradźwiękową przy wyznaczaniu stałych sprężystości. Stałe te można obliczyć stosując następujące wzory:

$$E = \varrho\, c_t^2 \frac{3\, c_l^2 - 4\, c_t^2}{c_l^2 - c_t^2}$$

oraz

$$\nu = \frac{c_l^2 - 2\, c_t^2}{2\, c_l^2 - 2\, c_t^2}$$

gdzie:

- E - współczynnik sprężystości wzdłużnej
- ν - liczba Poinssona
- c_l - prędkość rozchodzenia się fali ultradźwiękowej podłużnej
- c_t - prędkość rozchodzenia się fali ultradźwiękowej poprzecznej
- ϱ - gęstość materiału.

Jak zatem widać, metoda ultradźwiękowa pozwala nie tylko określić wytrzymałość obudowy górniczej, ale też przy jej pomocy można wyznaczać inne wielkości fizyczne.

Możemy zatem powiedzieć, że prędkość rozchodzenia się fali ultradźwiękowej w bardzo wyraźny sposób rośnie w zależności od rodzaju zastosowanego materiału z którego wykonano obudowę. Prędkość ta zależy w dużym stopniu od obciążenia jakiemu poddano obudowę. Okazuje się, że im wyższa marka zaprawy, cegły tym większe są prędkości przebiegu fali ultradźwiękowej. Na tej podstawie można wysunąć wniosek, że prędkość rozchodzenia się fali jest zależna od wytrzymałości obudowy. Zależność tę można wyrazić przy pomocy wzorów matematycznych. Dla danego rodzaju obudowy możemy w przybliżeniu w bardzo szybki sposób obliczyć wytrzymałość nie niszcząc jej przy tym zupełnie, według poniższych wzorów oraz posługując się krzywymi przedstawionymi na rys. 3.

Dla krzywej I przedstawionej na rys. 3 obrazującej wytrzymałość obudowy wykonanej z cegły pełnej klasy 150, cementu portlandzkiego 250:

1:4 (krzywa I)

$$R_m = 74\ v^2 + 155{,}5\ v - 157{,}17$$

1:3 (krzywa II)

$$R_m = 0{,}0245\ v^3 - 71{,}5\ v^2 + 530{,}9\ v - 602{,}23$$

1:2 (krzywa III)

$$R_m = 108{,}35\ v^2 - 56{,}2\ v - 289{,}8$$

gdzie:

R_m - wytrzymałość obudowy

v - prędkość rozchodzenia się fali ultradźwiękowej w obudowie górniczej.

Wnioski

Na podstawie przeprowadzonych badań można powiedzieć że:

1. Prędkość rozchodzenia się fali jest różna dla różnych rodzajów obudowy murowej ceglanej.

2. Prędkość tę można wyznaczyć przy pomocy wzorów matematycznych.

3. Prędkość ta zależy od obciążenia jakiemu poddano daną obudowę.

4. Wytrzymałość obudowy można wyznaczyć w sposób nieniszczący obudowy górniczej.

LITERATURA

[1] CHUDEK M.: Studia nad wytrzymałością murów z prefabrykatów w budownictwie podziemnym kopalń. Politechnika Śląska - Zeszyty Naukowe nr 109 Gliwice 1964.

[2] CHUDEK M.: Nowy pogląd na wytrzymałość obudowy murowej wyrobisk górniczych. Rudy Żelaza 1965 nr 2-10.

[3] CHUDEK M.: Obudowa kombinowana (murowo stalowa) poziomych wyrobisk górniczych. Zeszyty Naukowe Pol. Śląskiej 1965 nr 138.

[4] KUCZYŃSKI: Korelacja wytrzymałość próbek walcowych i kostkowych betonu. Inżynieria i Budownictwo nr 8 1952 r.

[5] FILIPCZYŃSKI L., PAWŁOWSKI Z., WEHR J.: Ultradźwiękowe metody badań materiałów. Warszawa 1959 PWT.

[6] BRUNOWSKI: Korelacja statystyczna wyników badań zależności fal ultradźwiękowych w betonie od jego wytrzymałości Biuletyn Informacyjny Nauk. Techn. 2 IBT 1959 r.

[7] SAWCZUK A.: Nieniszczące metody badania materiałów. Inżynieria i Budownictwo nr 1 - 1959 r.

[8] ŻENCZYKOWSKI W.: Budownictwo ogólne. Warszawa PWN 1954 r.

[9] KOBYLIŃSKI A., SZYMAŃSKI E.: Materiały budowlane Łódź 1961 - Warszawa PWN.

[10] BRYŁA, SUWALSKI - Beton i żelbet. Warszawa 1954 Budownictwo i Architektura.

[11] KOŁTOŃSKI W.: Propagacja fal ultradźwiękowych w skałach i jej praktyczne zastosowanie. Warszawa 1960 PWN.

[12] PAŁKA J.: Zastosowanie fal ultradźwiękowych do badania właściwości fizykomech. gruntów. TNEB Warszawa 1961.

[13] KUCZYŃSKI, SAMUJŁŁO: Zastosowanie betonoskopu BJ-4 do oceny wytrzymałościowej cegieł i murów ceglanych. Nieniszczące metody badania materiałów PAN-Ossolineum - Zeszyty Problemowe Nauki Polskiej XXVI. Wrocław-Warszawa-Kraków 1965 r.