

Kazimierz Podgórski, Janusz Machulik,
Józef Rubinowski, Piotr Głuch

WPŁYW SPOSOBU POŁĄCZENIA ŚCISKANYCH ELEMENTÓW OBUDOWY NA ICH WYTRZYMAŁOŚĆ PRZY OBCIĄŻENIU PIONOWYM

Streszczenie. W pracy podano sposób ustalania wpływu wkładek między elementami z betonu poddanych ścisaniu, na ich wytrzymałość w stanie granicznym. Wpływ ten został ustalony badaniami laboratoryjnymi jak i rozważaniami teoretycznymi. Stwierdzono, że wraz ze zmniejszeniem kąta tarcia i kohezji wkładki znacznie spada wytrzymałość połączonych elementów obudowy.

1. Wstęp

W budownictwie górnictwym dla uzyskania podatności obudowy jak i dla zmniejszenia wpływu nierówności łączonych elementów obudowy stosuje się różnego rodzaju wkładki.

Jako wkładki upodatniające stosowane są przeważnie materiały porowate o takiej podatności i wytrzymałości, żeby uzyskać wymaganą podatność obudowy. Najczęściej stosowanymi materiałami na wkładki są: drewno, płyty paździerzowe, płyty z prasowanej słomy, sklejki drewniane lub wzmocnione materiały elastyczne jak gumowe pasy z taśm przenośnikowych. Pod wpływem nacisku wkładki takie ulegają zgniotowi i rozpełzywaniu na boki w wyniku czego występujące naprężenia ścinające dążą do rozrywania elementów obudowy w miejscu ich połączenia.

Naprężenia takie powodują znaczne osłabienie łączonych elementów obudowy. Wpływ wkładek podatnych na osłabienie elementów obudowy stwierdzono na podstawie badań laboratoryjnych ściskanych próbek betonowych. [2].

2. Wpływ grubości, rodzaju wkładki na wytrzymałość łączonych elementów obudowy

Zachowanie się wkładki między dwoma szorstkimi powierzchniami złącza obudowy rozpatrzono dla stanu granicznego.

Schemat pracy wkładki przedstawiono na rys. 1.

W schemacie uproszczonym założono, że wpływ sił ścinających na kontakcie elementów obudowy można zastąpić przy stosunkowo cienkiej wkładce wpływem ciśnienia bocznego i zależność ta wyrażona jest wzorem:

$$2\tau \cdot s \cdot l = 2\sigma_2 \cdot h (1 + s) \quad (1)$$

Po podstawieniu zależności $\xi = \sigma_1$.
 $\cdot \operatorname{tg} \varrho_1 + C_1$ do wzoru (1) otrzymano:

$$\sigma_2 = (\sigma_1 \cdot \operatorname{tg} \varrho_1 + C_1) \cdot \frac{s \cdot l}{h(1+s)} \quad (2)$$

gdzie:

- s - szerokość powierzchni styku elementu obudowy z wkładką
- l - długość powierzchni styku elementu obudowy
- h - grubość wkładki
- σ_1 - pionowe naprężenie w miejscu wkładki
- ϱ_1 - kąt tarcia wkładki o szorstką powierzchnię elementu obudowy
- C_1 - kohezja wkładki względem szorstkiej powierzchni elementu obudowy, którą można przyjąć że wynosi $C_1 = 0,3 \cdot C$
- c - kohezja materiału wkładki
- ϱ - kąt tarcia wewnętrznego materiału wkładki.

Graniczny stan naprężeń w wkładce określa wzór: [1]

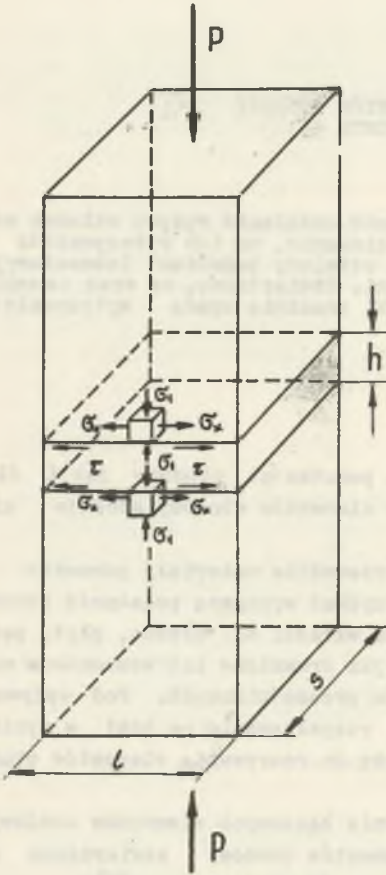
$$\frac{\sigma_1 - \sigma_2}{2} = C \cdot \cos \varrho + \frac{\sigma_1 + \sigma_2}{2} \sin \varrho \quad (3)$$

Zależności określone wzorem (2) podstawiono do wzoru (3) i po przekształceniu otrzymano wzór na grubość wkładki w granicznym stanie naprężeń, który posiada postać:

$$h = \frac{(\sigma_1 \cdot \operatorname{tg} \varrho_1 + C_1) \cdot s \cdot l}{1 + s} \cdot \frac{1 + \sin \varrho}{\sigma_1 (1 - \sin \varrho) - 2 \cdot c \cdot \cos \varrho} \quad (4)$$

Występujące naprężenia we wkładce, które powodują jej wyciskanie na boki są przyczyną powstania naprężeń rozciągających poziomych σ_x w elemencie obudowy w bezpośrednim sąsiedztwie z wkładką. Największe naprężenia rozrywające σ_x występują w osi symetrii elementu obudowy na wysokości Δ_z na kontakcie z wkładką i można przy pewnym uproszczeniu przyjąć, że są równe:

$$\sigma_x = -(\sigma_1 \cdot \operatorname{tg} \varrho_1 + C_1) \cdot \frac{1}{2 \Delta_z} \quad (5)$$



Rys. 1. Rozkład naprężeń w miejscu złącza elementów obudowy

Naprężenia te powodują powstawanie pęknięć w elementach obudowy i znacznie osłabiają wytrzymałość elementów obudowy. Wpływ tych naprężeń na graniczną wytrzymałość elementów obudowy można ustalić analitycznie z przekształconego wzoru (3) i (5).

W wyniku przekształcenia wzoru (3) i (5) otrzymano wzór na wytrzymałość na ściskanie elementu obudowy, który posiada postać:

$$\sigma_1 = R_{c1} = \left(\frac{2c \cdot \cos \rho}{1 - \sin \rho} - \frac{1 + \sin \rho}{1 - \sin \rho} \cdot \frac{C_1 \cdot l}{2 \Delta z} \right) \cdot \left(1 + \frac{1 \cdot \tan \rho_1}{2 \Delta z} \cdot \frac{1 + \sin \rho}{1 - \sin \rho} \right) \quad (6)$$

gdzie:

- R_{c1} - graniczna wytrzymałość elementu obudowy w miejscu złącza
- ρ - kąt tarcia wewnętrznego elementu obudowy
- ρ_1 - kąt tarcia wkładki względem elementu obudowy
- C_1 - kohezja wkładki względem szorstkiej powierzchni elementu obudowy
- c - kohezja materiału obudowy, którą można wyliczyć na podstawie wytrzymałości na ściskanie R_c elementu obudowy nieosłabionej wkładką ze wzoru $c = \frac{R_c (1 - \sin \rho)}{2 \cdot \cos \rho}$.

Uzyskane wielkości z podanych zależności porównano z wynikami badań laboratoryjnych.

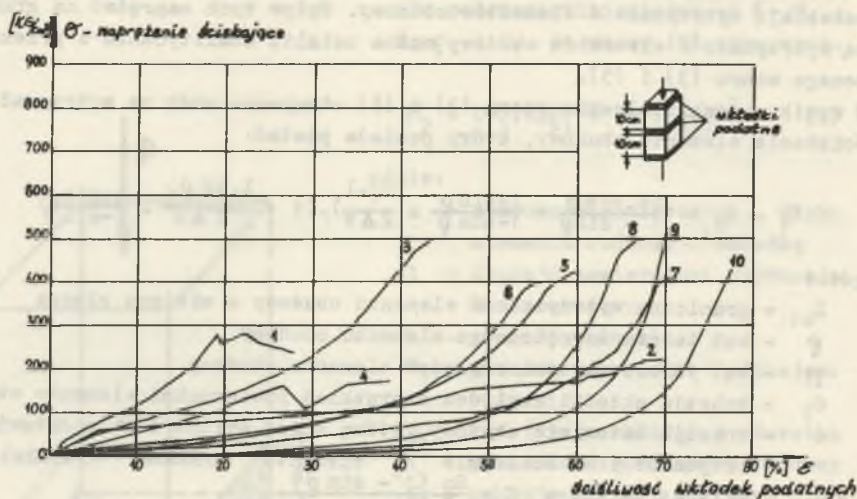
3. Kształtowanie się wytrzymałości próbek betonowych w zależności od rodzaju i grubości wkładki

Celem stwierdzenia jak wpływa dokładność dopasowania powierzchni w miejscu połączenia próbek betonowych oraz jak wpływa sposób ich połączenia przytacza się badania [2], których wyniki przedstawiono na rysunkach 2 i 3 oraz w tabelach 1 i 2.

Wyniki badań odpowiadają średniej około 4 prób w danym sposobie połączenia próbek. Do badań były stosowane w danym zestawie dwie kostki betonowe o wymiarach każda 10 x 10 x 10 cm.

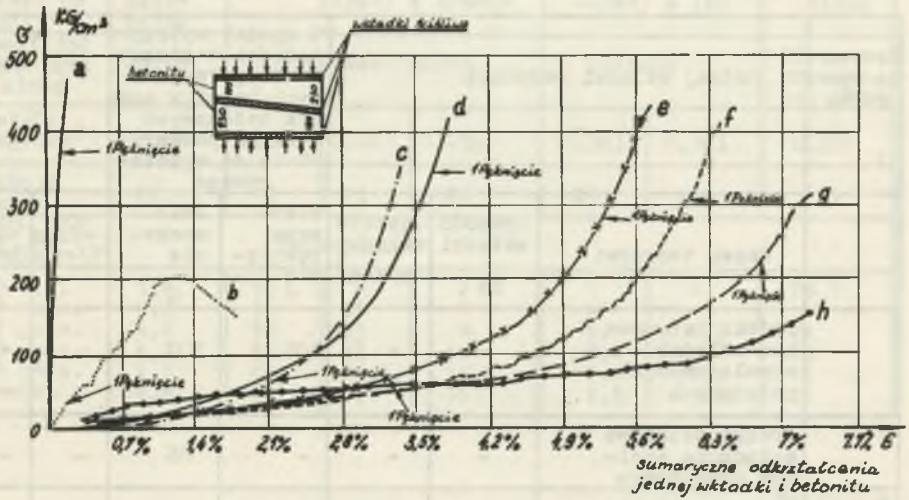
W każdej próbie użyto dwie kostki betonowe oddzielone wkładką oraz nałożoną wkładką u góry i u dołu w miejscu działania płyt dociskowych prasy. Przeprowadzono również badania na kostkach połączonych zaprawą cementową, których wyniki przyjęto za punkt odniesienia 100%.

Oprócz badań na próbkach betonowych były przeprowadzone badania na betonitach naturalnej wielkości, których wyniki przedstawia (rys. 3) i tablica [2].



Rys. 2. Krzywe ścisłości wkładek podatnych w funkcji obciążenia w przypadku stosowania betonowych próbek o wymiarach 10 x 10 x 10 cm podanych w tabelicy 1

1. Wkładki z pasów napędowych	$h = 9,8 \text{ mm}$
2. Wkładki z drewna jodłowego	$h = 22 \text{ mm}$
3. Płyty pilśniowe twarde	$h = 20 \text{ mm}$
4. Wkładki z gumy kauczukowej	$h = 11 \text{ mm}$
5. Prasowane odpady z drewna - płyty pilśniowe miękkie	$h = 20 \text{ mm}$
6. Płyty z prasowanej słomy	$h = 11 \text{ mm}$
7. Płyty z paździerzy lnianych - Polinex	$h = 22 \text{ mm}$
8. Płyty z prasowanej słomy	$h = 21 \text{ mm}$
9. Płyty z prasowanej słomy	$h = 26 \text{ mm}$
10. Mata ze słomy	$h = 26 \text{ mm}$



Rys. 3. Charakterystyka ścisłości muru upodatnionego w funkcji obciążenia przy stosowaniu różnych wkładek updatniających podanych w tabelicy 3, dla przypadku badania na całych betonitach

- a - betonity scementowane
- b - betonity bez wkładek - płaszczyzny surowe
- c - płyty z prasowanej słomy h = 11 mm
- d - płyty z prasowanej słomy h = 15 mm
- e - płyty pilśniowe twarde h = 20 mm
- f - płyty z paździerzy lnianych h = 20 mm
- Polinex
- g - płyty z paździerzy lnianych h = 40 mm
- Polinex
- h - drewno jodłowe h = 36 mm

Tablice 1

Własności wytrzymałościowe stosowanych wkładek dla układów próbek betonowych o wymiarach 10 x 10 x 10 cm [2]

Krzywa na rysunku	Rodzaj wkładki podatnej			% spadek wytrzymałości w stosunku do połączeń na styk próbek betonowych których powierzchnie są wypolerowane		Ściśliwość przy naprężeniu %	
	Nazwa tworzywa	Grubość wkładki mm	Gęstość wkładki kg/dm^3	Pierwsze pęknięcie %	Zniszczenie %	500 N/cm^2	2000 N/cm^2
	Próbki betonowe bez wkładek o wypolerowanych podstawach	-	-	100	100	-	-
	Próbki betonowe połączone spoiwem cementowym	-	-	-	86	-	-
2.	Drewno naturalne - Jodła	22,0	0,464	9,7	42	5	65
7.	Materiały na bazie odpadów z lnu - Polinex	22,0 40,0	0,363 0,363	43 81	82 85	32,3	61
5.	Materiały utworzone z odpadów z drewna -prasowane płyty	22,0 20,0	0,436 0,652	74 91	83 98	21 5,5	47,5 27
8 6	Płyty z prasowanej słomy	21,0 11,0	0,370 0,546	88 79	97 93	22,5	46
1	Różne:						
	- pasy napędowe	9,8	1,095	20	55	3,2	16
4	- guma kauczukowa	11,0	1,310	9,7	34	0	-

Tablica 2

Wpływ wilgoci na pęcznienie wkładek podanych w tablicy 1

Rodzaj materiału na wkładki	Drewno naturalne	Odpady z drewna			Odpady z lnu		Słoma
Nazwa	Jodła	Prasowane płyty			Polinex		Płyty z prasowanej słomy
Gęstość w kg/dcm ³	0,464	0,640	0,620	0,436	0,363	0,363	0,570
Grubość w mm	22	10	13	20	20	40	11
Czas pęcznienia	Pęcznienie %						
30 min.	1,4	50	-	2	0	0	28,5
3 godz.	4,3	56	35	7	-	-	-
7 godz.	4,6	58	38,5	9	6,8	8,7	34
20 godz.	4,7	60	42	10	7,4	10	103
48 godz.	4,7	60	46,5	11	7,8	10,5	111
tydzień	4,8	60	47	15	7,8	10,5	111

Tablica 3

Charakterystyka stosowanych wkładek updatniających i ich wpływ na spadek wytrzymałości obudowy w stosunku do wytrzymałości betonitów łączonych spoiwem cementowym [2]

Krzywa na rysunku	Rodzaj wkładki	Grubość wkładki mm	Gęstość wkładki kg/dcm ³	$R_c - 100 = \%$ spadek wytrzymałości muru w stosunku do wytrzymałości betonitów łączonych spoiwem cementowym	
				pierwsze pęknięcia %	zniszczenie %
a	Betonity scementowane	-	-	73,5	100
b	Betonity bez wkładek - płaszczyzny surowe	-	-	7	40
h	Jodła	36,0	0,5	7	30
-	Prasowane odpady z drewna - płyty pilśniowe miękkie	20,5	0,451	26	66
e	Płyty pilśniowe twarde	20,0	0,388	54	84
f	Płyty z paździerzynianych - Polinex	20,0	0,363	60	75
g		40,0	0,363	68	84
-	Płyty z prasowanych odpadów lnu - płyty paździerzowe	19,5	0,511	34,5	88
-	Materiał na bazie odpadów z lnu	19,5	0,42	53	75
c	Płyty z prasowanej słomy	11,0	0,57	12	67
d		15,0	0,57	38	70
-		28,0	0,27	61	97
-		30,0	0,518	65	83

4. Wnioski

W warunkach deformacyjnych ciśnień górotworu stosowana obudowa górnicza składająca się z segmentów betonowych lub żelbetowych oddzielonych wkładkami podatnymi winna zapewnić wymaganą podatność i podporność. Stosowanie wkładek podatnych znacznie obniża wytrzymałość obudowy co stwarza potrzebę stosowania segmentów żelbetowych z dodatkowym zbrojeniem wieńcowym przy końcach segmentów między które będzie zakładana wkładka podatna. Takie rozwiązanie zbrojenia powinno zapewnić wymaganą nośność segmentu. Stosowane wkładki podatne nie powinny zmniejszyć swej podporności z upływem czasu pod wpływem działania wilgoci czy butwienia wkładek, Wkładki powinny być mało skłonne do zapalenia się od pożaru. Grubość wkładki winna być większa od 1,5 cm z uwagi na występujące nierówności na powierzchni segmentu obudowy wynoszące czasami około 1 cm.

Stosowane wkładki powinny posiadać możliwie duży współczynnik tarcia wewnętrzznego. Wkładki o małym współczynniku tarcia wewnętrznego jak np. płyty z gumy kauczukowej powodują trzykrotne zmniejszenie wytrzymałości na ściskanie betonu w miejscu działania wkładki. Z przedstawionych materiałów na wkładki najkorzystniejszym rozwiązaniem jest stosowanie wkładek drewnianych, której włókna skierowane są prostopadle do powierzchni wyrobiska oraz wkładki wykonanej z płyt paździerzowych, z płyt z odpadów drewna lub płyt z prasowanej słomy.

Wkładka z drewna jodłowego o grubości 22 mm powoduje zmniejszenie wytrzymałości betonu w miejscu wkładki około 42% natomiast wkładka z płyt paździerzowych - Polinex o grubości 22 mm powoduje spadek wytrzymałości złącza około 82% zaś wkładka z płyt z odpadów drewna spadek wytrzymałości łączonych segmentów betonowych około 96%.

Duży wpływ wkładek upodatniających obudowę na jej wytrzymałość stwarza potrzebę dalszych badań w tym zakresie.

5. Literatura

- [1] M. Borecki, Chudek M.: Mechanika górotworu - skrypt, Gliwice 1973 r.
- [2] Stassen P., H. van Duyse: Étude sur les claveaux de béton et sur les intercalaires compressibles utilisés pour le revêtement des bouevaux. Institut National de l'Industrie Charbonnière Belgique, Bulletin technique "Mines", N° 74, 1960.

ВЛИЯНИЕ СПОСОБА СОПРЯЖЕНИЯ СЖИМАЕМЫХ ЭЛЕМЕНТОВ КРЕПИ
НА ИХ ПРОЧНОСТЬ ПРИ ВЕРТИКАЛЬНОЙ НАГРУЗКЕ

Р е з ю м е

В работе приводится способ определения влияния вкладок между бетонными сжимаемыми элементами на их устойчивость в предельном состоянии. Влияние это было установлено лабораторными испытаниями и путём теоретического анализа. Установлено, что с уменьшением угла трения и когезии вкладки значительно понижается прочность сопряжённых элементов крепи.

THE INFLUENCE OF THE WAY OF JOINING COMPRESSED LINING ELEMENTS
UPON THEIR RESISTANCE TO VERTICALLY APPLIED LOADS

S u m m a r y

The paper discusses a method of determining the influence of packings placed between concrete elements subjected to compression upon their strength at boundary conditions. This influence has been tested in laboratories and theoretically determined. It has been found that with the reduction of the friction angle also the resistance of the joined elements of a lining decreases to a considerable extent.