ZESZYTY NAUKOWE POLITECHNIKI ŚLĄSKIEJ

Seria: GÓRNICTWO z. 104

Mirosław CHUDEK Eugeniusz KOSTA

WPŁYW BETONU NATRYSKOWEGO UKŁADANEGO METODĄ MOKRĄ NA STATECZNOŚĆ OBRYSU WYŁOMU WYROBISKA KORYTARZOWEGO W ŚWIETLE BADAŃ MODELOWYCH

Streszczenie. W pracy przedstawiono badania modelowe w celu ustalenia charakteru współpracy betonu natryskowego układanego metodą na mokro z górotworem w wyrobiskach korytarzowych. Wykazano znaczny wzrost stateczności wyrobiska. Odkształcenia poprzeczne wyrobiska z betonu natryskowego (model Ib, rys. 7), były 5-krotnie niższe od odkształceń wyrobiska dla modelu Ia, rys. 1. W zakończeniu podano wnioski końcowe.

1. WPROWADZENIE

W budownictwie podziemnym beton natryskowy znalazł szerokie zastosowanie do zabezpieczenia wyrobisk korytarzowych i komorowych [1, 3, 5, 6, 8, 9, 10]. Beton natryskowy nakładany jest wprost na obrys wyłomu wyrobiska lub na obudowę odrzwiową stalową ŁP, kotwiową i inną stanowiąc tym samym obudowę kombinowaną w wykonywanych wyrobiskach [1, 4].

Zabezpieczanie wykonywanych i utrzymywanych wyrobisk w górotworze obudową z betonu natryskowego jest ekonomiczne, pozwalające na mechanizację prac i zapewniające im pełną stateczność. Beton natryskowy układany wprost megórotwór lub np. obudowę ŁP tworzy swego rodzaju konstrukcję, w której górotwór, beton natryskowy, obudowa współpracują ze sobą od chwili wykonania i podczas użytkowania wyrobiska.

Zakres tej współpracy oraz jej charakter i rodzaj dotychczas nie jest w pełni rozeznany teoretycznie i badawczo. Ograniczenie do koniecznego minimum pracochłonnych i kosztownych badań przemysłowych nad określeniem warunków współpracy betonu natryskowego z górotworem przyczyniło się do zainspirowania i przeprowadzenia badań modelowych, które zrealizowano w stoisku badawczym w Instytucie Projektowania, Budowy Kopalń i Ochrony Powierzchni Politechniki Śląskiej.

1980

Nr kol. 640

2. PROGRAM I REALIZACJA BADAN MODELOWYCH

2.1. Cel i zakres badań

Zasadniczym celem badań było:

 określenie wpływu warstwy betonu natryskowego na nośność modelu nałożonej wprost na obrys wyłomu wyrobiska modelowego.

Do zrealizowania postawionego celu zakres badań obejmowak:

- wykonanie modelu wyrobiską łącznie z wyłożeniem jego obrysu wewnętrznego skałą pochodzącą z robót kamiennych,
- przeprowadzenie badań wytrzymałościowych modelu wyrobiska,
- nałożenie na zamodelowany górotwór znajdujący się w stanie naprężeń warstwy betonu natryskowego wykonanego metodą mokrą,
- przeprowadzenie kompleksowych badań wytrzymałościowych modelu wyrobiska z obudową wykonaną w postaci betonu natryskowego ułożonego wprost na górotwór,
- określenie parametrów wytrzymałościowych zamodelowanego górotworu i betonu natryskowego w chwili przeprowadzenia badań wytrzymałościowych modelu.

2.2. Charakterystyka stoiska badawczego i modelu

Stoisko badawcze będące w Hali Technologicznej Instytutu Projektowania, Budowy Kopalń i Ochrony Powierzchni Politechniki Śląskiej pozwoliło na zrealizowanie badań w skali 1:3, co pokazano na rys. 1.

Na płytę atakującą działały trzy podnośniki hydrauliczne o udźwigu $Q = 50 \times 10^4$ N i dodatkowo podnośniki $Q = 10 \times 10^4$ N(rys. 7). Obrys wyrobiska uzyskano przez zastosowanie w trakcie formowania modelu szablonu z wykładziną drewnianą. Dla wyeliminowania wpływu tarcia płytę atakującą zaopatrzono w łożyska 7, a ściany stendu wyłożono folią 6 (rys. 1).

2.3. Dobór tworzywa modelowego

W oparciu o przeprowadzone rozeznanie literaturowe ustalono, że kruszywo do tworzywa modelowego stanowić będzie kamień popłuczkowy z kopalni węgla kamiennego "Sośnica" o granulacji O do 70 mm z dodatkiem plasku. Tak uzyskany stos okruchowy zarobiono z zaczynem cementowym (cement + woda). Dla określenia parametrów wytrzymałościowych uzyskanego tworzywa pobierano z każdego zarobu walce o wymiarach ϕ 16/16 cm, które poddawano zgniataniu po 4 i 16 dniach, Dla próbek wykonanych wg receptury 1 [2] średnie wytrzymałości uzyskano $G_{\rm srr} = 325 \times 10^4$ Pa, $G_{\rm srr} = 423 \times 10^4$ Pa, $G_{\rm srr} = 23 \times 10^5$ Pa, a dla próbek wg receptury 2 [2] $G_{\rm srr} = 2 \times 10^6$ Pa, $G_{\rm srr} = 253 \times 10^4$ Pa, $G_{\rm srr} = 425 \times 10^4$ Pa. Spośród wielu przebadanych receptur [2] do badań wytypowano recepturę:

stosanek : cement = 1 : 7



Rys. 1. Schemat zamodelowanego wyrobiska i stoiska badawczego: 1 - płyta dociskowa, 2 - obrys wyrobiska, 3 - elementy oporowe, 4 - podnośniki hydrauliczne Q = 50 ton, 5 - zamodelowany górotwór, 6 - folia PCV, towot, 7 - łożysko, 8 - ściany stoiska, 9 - warstwa kamienna

Skład jednego zarobu był następujący: cement hutniczy "350" - 70 cm³ kruszywo popłuczkowe 0-70 - 10 dm³ woda wodociągowa - 20 dm³.

2.4. Metodyka i przebieg badań oraz zastosowana aparatura

Wykorzystując doświadczenie zdobyte podczas realizacji badań próbnych model wyrobiska korytarzowego bez obudowy (model Ia) wykonano wg wchematu pokazanego na rys. 1. Obrys wewnętrzny od strony stropu i ociosów wyłożono skałą płonną uzyskaną z robót kamiennych prowadzonych na kopalni "Milowice", zaś płaszczyznę poziomą spągową modelu pokryto warstewką wapna.

W trakcie wykonywania modelu pobierano próby normowe, na których ustalono wytrzymałości w terminach przeprowadzania właściwych badań modelowych (po upływie 7 i 16 dni). Wymiki badań wytrzymałościowych dla zamodelowanego górotworu uzyskane w pierwszym i drugim terminie zestawiono w tablicy 1. Obciążenie modelu zrealizowano za pomocą .płyty dociskowej (rys. 1) zaopatrzonej w trzy podňośniki hydrauliczne sprzężone o udźwigu Q = 50 x 10⁴N każdy.

Wyniki badań wytrzymałościowych prób normowych

	Uwagi		Po 7 dniach				Po 16 dniach	
Srednia		Ра			137,5 x 10 ⁴		181 x 10 ⁴	
Wytrzymałońć 6= P Pa			13 x 10 ⁵	18 x 10 ⁵	102,5 x 10 ⁴	182,5 x 10 ⁴	197,5 x 10 ⁴	162,5 x 104
S1 a	P. (N)	Ц	26000	36000	20500	36500	39500	32500
71	Pa	(cm ²)	200	200	200	200	200	200
y próbk	Н	(cm)	16,0	16,0	16,0	16,0	16,0	16.0
Wymlar	Q	(cm)	16,0	16,0	16.0	16,0	16.0	16.0
	Data		27 09 72	27 09 72	27.09.72	6.10.72	6.10.72	6.10.72
Ozna- czenie próbi			1/1	I/2	I/3	I/4	I/5	1/6
	Lp.		-	N	m	4	ŝ	9

8



Rys. 2. Rozmieszczenie czujników zegarowych na obrysie wyrobiska w modelu Ia



Rys. 3. Widok charakterystycznego zarysowania w części stropowej

Pomiaru deformacji w przekroju poprzecznym na obrysie zamodelowanego wyrobiska dokonywano przy użyciu czujników zegarowych usytuowanych wg schematu pokazanego na rys. 2, z dokładnością do 0,01 mm.

Model Ia (górotwór) obciążono układem siłowników o ciśnieniu 2 x 10^7 Pa, tj. około 60 x 10^4 N. Pomiary odkształceń poprzecznych rejestrowano co 5 x 10^6 Pa i zamieszczono w tablicy 2.

9

4

Wyniki pomiarów odkształceń poprzecznych modelu Ia

	Uwagi			27.10.72	Po obciążeniu	Bî ≩g 60 T	i clénieniu	2 x 10 ⁷ Pa	zaklinowano	płytę rozpo-	rami stalowymi	celem utrzy-	mania obcia-	żenia	
		8		00*0		1,34		2,70		3,54		4,59		6,30	
2	0	7		00 0		0,32		0,58		0, 75		1,08		1,68	
	Przemieszczenie obudowy w punkcie w (mm)	6		00 0		+0 05		-0, 25		-0,33		-0.42		-0.55	
		5		00 0		-0,60		-0,83		-0.93		-1,03		-4.17	
edod woon		4		00*0		0,01		0.01		0,00		-0,09		-0.14	
		3		0,00		0,96		1,35		1,00		1,05		1,05	
		2		0,00		0, 79		1,92		2,49		2,94		4,14	•
A + + + + + + + + + + + + + + + + + + +		1		00 0		1,48		3,33		4,33		5,26		6, 18	
	Sila P x 10 ⁴ (N)		+	0	1	3x5=15		30		34 5		45		60	
	Ciénienie	10 ⁶ Pa		0 0		5		10		12,5		15		20	
	Lp			1 .		ŝeu		3		4		5		6 1	

+

10







Rys. 5. Schemat powstawania i rozmieszczenia rys. w modelu Ia I - rysy przy ciśnieniu w siłownikach - 10⁷ Pa, II - rysy przy ciśnieniu w siłownikach - 2 x 10⁷ Pa

Następnie przy ciśnieniu 2 x 10⁷ Pa układ obciądający zablotowano na godz., tj. do momentu naniesienia na obrys wewnętrzny wypobista warstwy betonu natryskowego.

W trakcie obciążenia modelu Ia (górotwór) siłownikami o ciśnieniu od 0,5 x 10^5 Pa do 10^7 Pa nie rejestrowano żadnych rys ani pęknięć widocznych gołym okiem. Przy ciśnieniu 15 x 10^6 Pa pojawiły się rysy w kluczu i spągu wyrobiska (I)1 i (I)2, s przy ciśnieniu cieczy, w siłownikach 2 x 10⁷ Pa poprzednio zaobserwowane rysy powiększyły się (rys. 3 i 4). Oprócz wymienionych pojawiły się nowe rysy (III)1 i (III)2 po prawej stronie części spągowej wyrobiska (rys. 5).

V tym stanie zatrzymano dalszy przyrost obciążenia modelu (przy ciśnieniu 2 x 10⁷ Pa) i po upływie 24 godz. na obrys zamodelowanego wyrobiska nakożono przy wykorzystaniu natryskownicy typu USI-139 warstwę betonu natryskowego.

Grubość warstwy betonu natryskowego naniesionego metodą "mokrą" wynosiła w części spągowej około 15 cm, zaś w części stropowej od 8 do 10 cm.

Do nałożenia warstwy na zamodelowany górotwór stosowano beton natryskowy, w którego skład wchodziło kruszywo naturalne i cement hutniczy "35.)" o stosunku C : k = 1 : 4 oraz wodą wodociągowa. Po upływie 24 godz. od naniesienia warstwy wykonania, obudowy obciążenie zdjęto, a następnie przystąpiono do przygotowań związanych z wykonaniem drugiej części badań modelu Ib.



Rys. 6. Schemat modelu Ib w stanowisku badawczym

 1 - płyta atakująca (dociskowa), 2 - obrys wyrobiska, 3 - elementy oporowe, 4 - podnośniki hydrauliczne PH-50, 5 - zamodelowany górotwór, 6 - folia PCW + towot, 7 - łożysko, 8 - ściany stoiska, 9 - warstwa kamienna, 1) - warstwa betonu natryskowego, 11 - podnośniki hydrauliczne PH-10

Model Ib pokazano schematacznie na rys. 6, zaś jego widok łącznie z usytuowaniem czujników zegarowych na rys. 7.



Rys. 7. Schemat rozmieszczenia czujników

Miej-	Kąt		0	d c	z y t	У	Odczyt	LL	$(L, -L)^2$		
sce		1	2	3	4	5	6	7	L _i śr	*	
1	0	19	22	19	21	14	.22	16	19,0	+0,4	0,16
2	0	16	18	16	15	14	20	20	17,0	-1,6	2,56
3	0	20	16	15	23	16	22	15	1_,1	-0,5	0,25
4	Э	21	19	18	19	22	21	2 2	20,3	-1,7	2,89
		0	5,86								

Dziennik pomiarów sklerometrycznych młotkiem Schmidta

Do obciążenia modelu Ib zastosowano obok trzech podnośników hydraulicznych o udźwigu Q = 50×10^4 N każdy, dodatkowo 4 podnośniki o udźwigu Q = = 10×10^4 N (rys. 6). Wytrzymałość warstwy betonu natryskowego określono po upływie 7 dni metodą sklerometryczną przy użyciu młotka Schmidta typu średniego N = 10. Wyniki badań zestawiono w dzienniku pomiarów sklerometrycznych młotkiem Schmidta, zamieszczonych w tablicy 3.

Przed przystąpieniem do właściwych bedań wytrzymałościowych płaszczyznę poziomą pomalowano wapnem. Po upływie 7 dni od chwili naniesienia na obrys wyrobiska warstwy betonu natryskowego przystąpiono do ostatecznych bedań wytrzymałościowych modelu.

14

www. pomiarow od satakcen poprzeoznych modelu Ib po 7 dniach

	со	0 0	21.4	0 46	0.66	1,11	1,02	C. 5	3 52	5 03	-5 2	6 39	1
	7	00*0	0.66	0,14	0, 24	0,41	-), 63	1,4	1,45	S. 2	2,1	2. 77	
oun cie	6	co c	-0, 11	-0,33	-0.56	70°0-	-1,66	-2, 39	-3,17	-4,12	-4.30	-4.03	
oudowy w p	5	00°C	-0, 10	-0.20	-0, 46	-0.77	-1 20	-1 69	-2,17	-2.67	-2 71	-3 26	-
zczenie ol	4	0.00	60° C-	-0,22	-0,35	-0,58	-0 , E9	-1,25	-1,56	-1,92	-1,92	-2, 7	
rzemies:	3	с с	0 7	0.50	0.70	1,07	1,65	2 34	3,10	4.07	4,45	5,36	
	2	20.2	7. 4	0,20	0.40	0,36	1,42	2 3	2, 38	3,92	4 45	5,15	
	1	c c	23	.,63	0	1,65	2,57	3.57	C.7. 4	6,58	7,33	0.43	
Si a	2 × 1 4 (1.		3 x 1 = 3	45	60	57	C G	105	12.	135	15	15 +4x1 =1	190
C LIEN O	1 6 B			15	. 02	25	30	35	4	45	05	20	С, Н Ц
	•	**	N	б	4	Б	9	2	00	σ	10	11	12

.

I. Chudek, E. Kosta

3. WINIKI BADAN WYTRZYMAŁOŚCIOWICH MODELU Ib

Rejestracji przemieszczeń obrysu wewnętrznego zamodelowanego wyrobiska dokonano w miarę narastania ciśnienia cieczy w siłownikach 5 x 10^6 Pa, tj. co 15 x 10^4 N, aż do uzyskania ciśnienia 5 x 10^7 Pa na podnośnikach głównych, a następnie włączono obciążenie pomocnicze w postaci 4 podnośników $\zeta = 1.1 \times 10^4$ N i pomierzono deformacje przy pełnym obciążeniu.



Rysa I – pęknięcie betonu natryskowego przy ciśnieniu 450 atn RysyII-IV – powstały przy ciśnieniu 500atn. Rysa II – III – rozwarstwienie powstałe przy obciażeniu 200 t. Rys. 8. Schemat powstawania i rozmieszczenia zys w trakcie badań modelu Th



Rys. 9. Widok uszkodzeń przy zniszczeniu modelu Ib



Rys. 10. Uszkodzenie lewego ociosu zamodelowanego wyrobiska



Rys. 11. Uszkodzenie prawego ociosu zamodelowanego wyrobiska

Wyniki pomiarów zamieszczone w tablicy 4. Obciążony pierwotnie siłą 60 x 10⁴ N model Ia (zamodelowany górotwór), na którym zarejestrowano cały szereg rys oraz pęknięć, po nałożeniu warstwy betonu natryskowego (obudowy betonowej) ponownie zabielono i zagipsowano, aby mozna było dokładnie odnotować jego pracę w nowej sytuacji jako model Ib.

Na podstawie szczegółowej obserwacji stwierdzone, że przy ciśnieniu $5 \ge 10^6$, 10^7 , $15 \ge 10^6$, $2 \ge 10^7$, $25 \ge 10^6$, $3 \le 10^7$, $35 \ge 10^6$ i $4 \ge 10^7$ Pa (120 $\ge 10^4$ N) nie zaobserwowano żadnych rys ani polnięć modelu Ib. Nawet pęknięcia powstałe na modelu Ia (zanodolowany śrotwór bez betonu natry-skowego), pokozane na rys. 5, nie ujawniły się. Frzy ciśnieniu 45 $\ge 10^6$ Pa (135 $\ge 10^4$ N) pojawiła się pierwsza rysa w prawej spągowej części modelu.

Przy sile obciążenia (150 x 10^4 N) na głównym układzie obciążeniowym pojawiły się drobne pęknięcia górotworu oraz rysa w betonie natryskowym w części spągowej na całej długości (rys. 8). Przy włączeniu obciążenia zapasowego na pełne ciśnienie (40 x 10^4 N) nastąpiło zniszczenie i rozwarstwienie modelu w jego części dolnej (spągowej).

Widok modelu Ib w chwili zniszczenia pokazano na rys. 9, zaś pęknięcia i rozwarstwienie prawej części spągowej na rys. 10 oraz lewej - na rys.11.

4. ANALIZA UZYSKANYCH WYNIKÓW I WNIOSKI KOŃCOWE

W oparciu o uzyskane wyniki badań modelowych można wysunąć następujące wnioski:

- Przy zastosowanej recepturze uzyskano tworzywo modelowe o niskich parametrach wytrzymałościowych (po 7 dniach około 14 x 10⁵ Pa), (po 16 dniach 181 x 10⁴ Pa), umożliwiające przeprowadzenie pełnego zakresu badań przy posiadanej sile obciążeniowej.
- 2. Zamodelowany górotwór wokół łukowego wyrobiska uległ wyraźnemu spękaniu już przy obciążeniu siłą 60 x 10⁴ N. Dalsze zwiększenie obciążenia doprowadziłoby już do całkowitego zniszczenia ustroju.
- 3. Nałożona bezpośrednio na zarysowany górotwór (model Ia) warstwa betonu natryskowego o stosunkowo niskiej wytrzymałości (ok. 600 N/cm² - po 7 dniach) wpłynęła w sposób zasadniczy na podwyższenie nośności badanego ustroju (model Ib). Warstwa ta dzięki dobremu przyleganiu i przyczepności zmieniła charakter pracy modelu.
- 4. Zniszczenie modelu nastąpiło przez rozwarstwienie ociosów w części przyspągowej. Przy ograniczeniu modelu w kierunku podłużnym wyrobiska jego nośność wzrosłaby wielokrotnie.
- 5. Analizując wielkości deformacji poprzecznych wyrobisk dla modelu Ia (bez betonu natryskowego) podane w tablicy 2 z analogicznymi dla modelu Ib - tablicy 4 z betonem natryskowym przy poziomie obciążeń 2 x 10⁷ Pa stwierdzono, że w przypadku tego ostatniego były one przeszło 5krotnie niższe, Wskazuje to na szczególnie pozytywną rolę, jaką spełnia w tych warunkach warstwa betonu natryskowego położona bezpośrednic na górotwór.

LITERATURA

- CHUDEK N.: Obudowa wyrobisk korytarzowych i komorowych. "Śląsk" Katowice 1975.
- [2] CHUDEK M., KOSTA E.: Badania nad określeniem parametrów wytrzymałościowych betonu natryskowego dla potrzeb budownictwa górniczego. Budownictwo górnicze i kopalnictwo rud.

- [3] CHUDEK N.: Obudowa hombinowana pozlomych wyrobisk górniczych, Zeszyty Naukowe Politechniki Śląskiej "Górnictwo", z. 13, Gliwice 1965.
- [4] HOSTA E.: Zastosowanie betonu natryskowego jako tworzywa konstrukcyjnego w budownictwie podziemnym kopalń. Praca doktorska, Gliwice 1976, (niepublikowane).
- [5] HETVOLT G.: Spritzbetonerprobungen in dre Untertage Versuchsanlage Reiteraipe der Bundeswehe. Erznetall 1972. nr 2.
- [6] RUŁKA K.: Studium nad wytrzymałościa obudowy betonowej zbrojonej regularnie rozmieszczonymi wkładkami sztywnymi w postaci łuków korytkowych. Zeszyty Naukowe Politechniki Śląskiej, z. 286, Gliwice 1970.
- [7] RULKA K.: Obudowa stalowo-betonowa wyrobisk korytarzowych i komorowych. "Śląsk", Katowice 1972.
- [8] ROTTER E.: Spritzbeton und seine praktischen Anwendungen im Untertageubau Berg und Huttenmännische. Honatshefte nr 5/6, 1961.
- [9] ROBCEWICZ L., PACHER F.: Gedanten zu Hodelluntersuchungen an Tunnelauskleidengen in Form einer dünnen, halbsteifen Schale. Felsmechanik un Ingemeurgeologie 1968, Suppl. IV.

ВЛИЯНИЕ ШПРИПЕЕТОНА УЮЛАДЫВАЕМОГО МОКРЫМ МЕТОДОМ НА УСТОЙЧИВОСТЬ КОНТУР ПРОЛОМА ГОРНОЙ ВЫРАБОТКИ БОЛЬШОЙ ПРОТЯЖЕННОСТИ НА ОСНОВЕ МОДЕЛЬНЫХ ИССЛЕДОВАНИЙ

Резюме

В статье рассматриваются модельные исследования для определения характера совместной работы шприцбетона укладываемого мокрым методом с горным массивом в горных выработках большой протяжённости. Была доказана значительная устойчивость горной выработки. Поперёчные дерормации выработки из шприцбетона (модель Ib, рис. 7) были пятикратно ниже от деформаций выработки для Ia, рис. 1. В заключении проводятся выводы.

THE EFFECT OF SHOTCRETE LAYED BY THE WET TECHNIQUE UPON THE STABILITY OF A BREACH OUTLINE OF THE DOG-HEADING IN THE LIGHT OF MODEL TESTING

Summary

The paper presents the model testing intended to define the pattern of interaction of shotcrete layed by the wet technique and the rock in the dog-heading. A considerable increase in the dog-heading stability was found. The lateral deflections of the shotcrete-dog-heading (model Ib, Fig. 7), were 5 times lower than those of the model Ia, Fig. 1. The final conclusions are given at the end of the paper.