

Miroslaw CHUDEK

Eugeniusz KOSTA

**BADANIA MODELOWE NAD USTALENIEM WARUNKÓW WSPÓŁPRACY Z GÓROTWOREM
BETONU NATRYSKOWEGO, UKŁADANEGO METODĄ SUCHĄ, STOSOWANYM
W BUDOWNICTWIE PODZIEMNYM**

Streszczenie. W pracy podano przebieg i wyniki badań modelowych współpracy z górotworem betonu natryskowego układanego na sucho na obnażone powierzchnie wyrobiska. Wykazano bardzo korzystny wpływ oddziaływania betonu natryskowego na stateczność tych wyrobisk. W zakończeniu podano wnioski końcowe, podsumowujące przeprowadzone badania.

1. CEL I ZAKRES BADAŃ

Podstawowym celem przedmiotowych badań było określenie wpływu warstwy betonu natryskowego ułożonego bezpośrednio na ściany wyrobiska modelowego na jego stateczność. Dla osiągnięcia postawionego celu, wykorzystując doświadczenia zdobyte podczas realizacji prac [1, 2, 3, 4, 5, 8], zrealizowano następujący zakres badań:

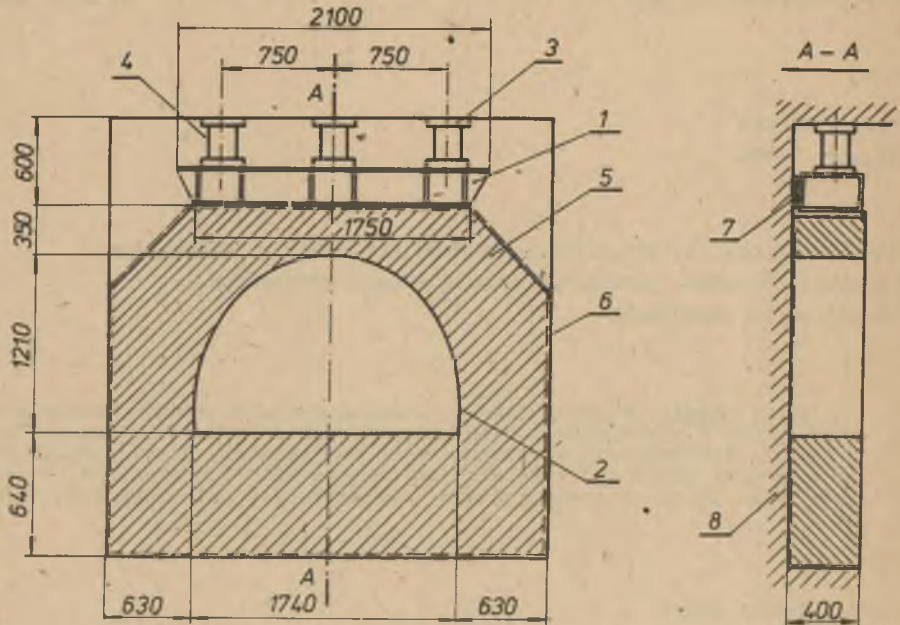
- wykonano model wyrobiska poziomego w skali 1:3 (model IIa),
- przeprowadzono kompleksowe badania wytrzymałościowe wykonanego modelu,
- naniesiono na obrys zamodelowanego wyrobiska warstwę betonu natryskowego (model IIb),
- przeprowadzono kompleksowe badanie wytrzymałościowe modelu IIb.

2. ZASTOSOWANE METODY BADAWCZE I APARATURA POMIAROWA

Modele typu II, podobnie jak modele typu I [3], wykonano w stanowisku badawczym Instytutu Projektowania Budowy Kopalń i Ochrony Powierzchni Wydziału Górniczego Politechniki Śląskiej. Zamodelowany górotwór wykonano na bazie kruszywa z kamienia popłuczkowego kop. Sośnica wg przedstawionej receptury [3]. Gabaryty zewnętrzne modelu IIa i stanowiska badawczego pokazano schematycznie na rys. 1.

Modele wykonywano z tworzywa o recepturze:

- kruszywo popłuczkowe 0-70 mm - 140 dm³
- cement hutniczy "250" - 20 dm³
- woda - 20 cm³



Rys. 1. Stanowisko badawcze oraz gabaryty zewnętrzne modelu IIa

1 - płyta dociskowa, 2 - obrys wyrobiska, 3 - elementy oporowe, 4 - podnośniki hydrauliczne PH-50, 5 - zamodelowany górotwór, 6 - folia PCV + to-
wot, 7 - łożysko, 8 - ściany stoiska

na jeden zarób. W trakcie wykonywania modeli pobierano próbki do walców 16x16 cm. Wyniki wytrzymałości badanych próbek na ściskanie podano w tabelicy 1.

Tabela 1

Dane wytrzymałościowe próbek pobieranych w trakcie wykonywania modelu

Lp.	Oznaczenie próbki	Data zgniatania	Wymiary próbek			Siła niszcząca P(N)	Napężenie $\sigma = 10^4 \text{ Pa}$	Uwagi
			D (cm)	H (cm)	F (cm ²)			
1	II/1	29.11.72	16,0	16,0	200	44750	223	
2	II/2	29.11.72	16,0	16,0	200	36750	183	po 10 dniach
3	II/3	29.11.72	16,0	16,0	200	60000	300	

Średnia wytrzymałość

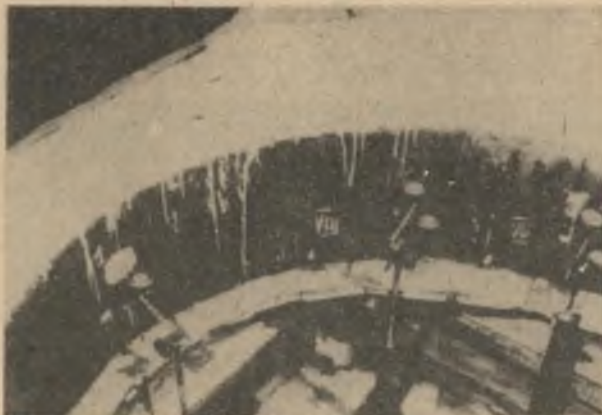
$$\sigma_{\text{sr}} = \frac{\sum \sigma}{n} = \frac{707,50}{3} = 235,8 \cdot 10^4 \text{ Pa}$$

$$\sigma_{\text{sr}} = 236 \cdot 10^4 \text{ Pa}$$

W odróżnieniu do poprzednich modeli [3] zmniejszono długość płyty dociskającej, ograniczając ją do szerokości zamodelowanego wyrobiska. Jako organ obciążający zastosowano tutaj trzy sprzężone siłowniki hydrauliczne o udźwigu $50 \cdot 10^5$ N każdy (rys. 1).

Skrócenie płyty dociskowej pozwoliło z jednej strony na zwiększenie nacisku jednostkowego przy tej samej sile obciążającej, z drugiej zaś na realizowanie bardziej niekorzystnego schematu obciążeń.

W celu określenia wielkości przemieszczeń obrysu wewnętrznego wyrobiska, w miarę narastania obciążeń podobnie jak w pracy [3], zastosowano czujniki zegarowe o dokładności do 0,01 mm zamocowane na statywach. Do dokładnego uchwycenia przemieszczeń zastosowano 12 czujników, które dolegały bądź do blaszek zagipsowanych na obrysie wewnętrznym wyrobiska, bądź kątowników pozwalających na równoczesny odczyt przemieszczeń w dwu wzajemnie prostopadłych kierunkach (rys. 2).

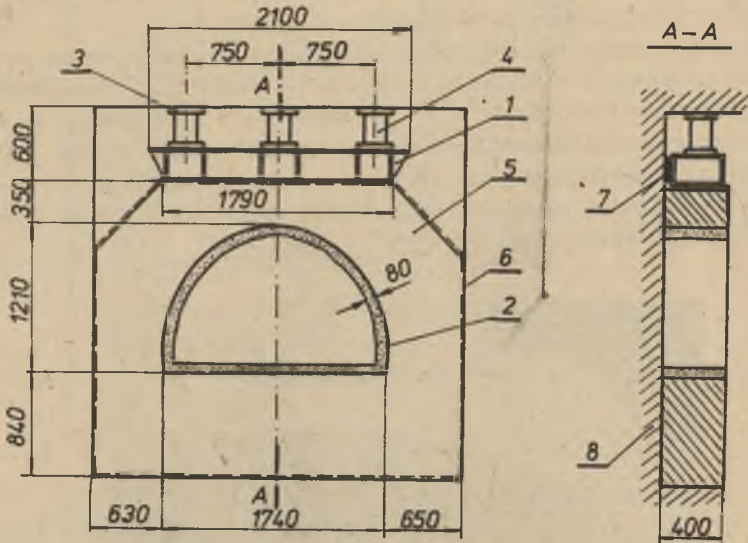


Rys. 2. Sposób rozmieszczenia czujników zegarowych

Odczytu przemieszczeń obrysu wyrobiska dokonywano, stopniując ciśnienie w siłownikach co 50 atn.

Dla uzyskania informacji o rozkładzie naprężeń obwodowych na obrysie wewnętrznym zamodelowanego wyrobiska zastosowano w modelach typu II tensometri elektrooporowe. W tym celu na obrysie wewnętrznym naklejono 8 czujników tensometrycznych typu RL-20, $R = 120$ i stałej $k = 2,24$. Pomiaru odkształceń dokonywano za pomocą mostka TT-3B i skrzynki rozdzielczej SR-24, stopniując ciśnienie w siłownikach co $5 \cdot 10^6$ Pa. Niezależnie od powyższego w trakcie badań wytrzymałościowych prowadzono ścisłą obserwację makroskopową modelu z równoczesną rejestracją rys, pęknięć i uszkodzeń. Dla umożliwienia dokładnej rejestracji, płaszczyznę górną modelu pobielono wapnem.

Obciążenie modelu IIa prowadzono, aż do zniszczenia, po czym na obrys wewnętrzny wyrobiska naniesiono warstwę betonu natryskowego o grubości 5 do 8 cm i w ten sposób uzyskano model IIb (rys. 3) (oznaczenia jak w pracy [3]).



Rys. 3. Schemat modelu IIb

Skład betonu natryskowego, wykonanego metodą suchą przy użyciu betoniarki natryskowej BN-4, był następujący:

- piasek - 0 - 2 mm 71 kg
- pospółka 0 - 20 mm 151 kg
- cement hutniczy "350" 33 kg

a więc stosunek c:k = 6,72.

W trakcie natryskiwania pobierano próby normowe, a następnie - po 7 dniach - ustalono ich wytrzymałość.

Uzyskane dane przytoczono w tabelicy 2.

Zamodelowane wyrobisko po naniesieniu warstwy betonu natryskowego modelującej obudowę (rys. 4) przygotowano do kolejnych badań wytrzymałościowych, które obejmowały:

- pomiar przemieszczeń obrysu wewnętrznego
- pomiar odkształceń obwodowych
- rejestrację rys i pęknięć.

Metodyka badań wytrzymałościowych modelu IIb była analogiczna jak model IIa.

Tablica 2

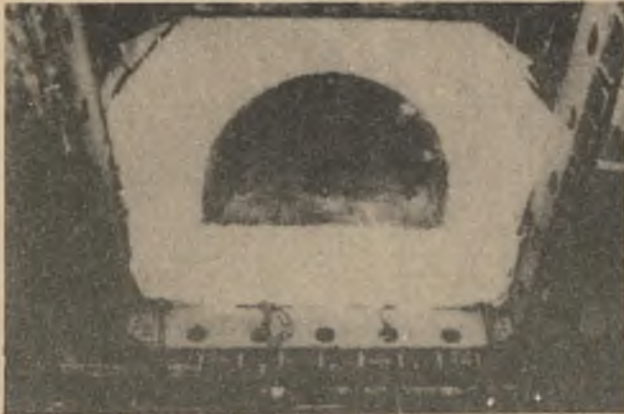
Wyniki wytrzymałości prób normowych

Lp.	Oznaczenie próbek	Wymiary próbek			Siła niszcząca P(N)	Napężenie 10 ⁴ Pa	Uwagi
		D (cm)	H (cm)	F (cm ²)			
1	II/1	16,0	16,0	300	180000	900	po 7 dniach
2	II/2	16,0	16,0	200	91000	455	
3	II/3	16,0	16,0	200	126000	630	

Średnia wytrzymałość

$$\sum \sigma = 1985 \cdot 10^4 \text{ Pa}$$

$$\sigma_{\text{śr}} = \frac{1985}{3} = 662 \cdot 10^4 \text{ Pa}$$



Rys. 4. Widok modelu IIB

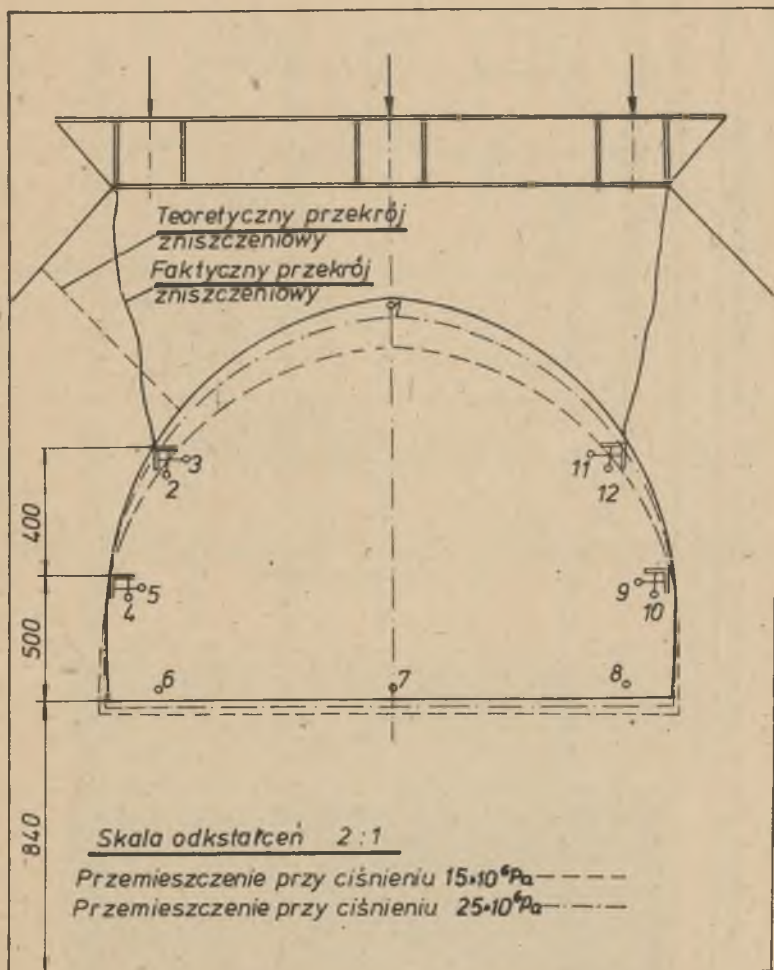
3. OPRACOWANIE MATERIAŁU POMIAROWEGO I UZYSKANE WYNIKI Z BADAŃ

Przemieszczenie obrysu wewnętrznego (wyłomu) wyrobiska modelu IIA mierzone w miarę narastania obciążenia w zakresie od 0 do $27 \cdot 10^6$ Pa w interwale $5 \cdot 10^6$ Pa zestawiono w tablicy 3, a linie ugięć dla ciśnienia $15 \cdot 10^6$ i $25 \cdot 10^6$ Pa naniesiono na rys. 5. Stan naprężeń w charakterystycznych punktach obrysu wewnętrznego wyłomu określono w sposób przybliżony, wykorzystując znaną zależność:

Tablica 3

Przemieszczenie obudowy modelu IIA

Ip.	Ciśnienie 10^6 Pa	Siła $P \cdot 10^4$ N	Przemieszczenie obudowy w punkcie (mm)										Uwagi				
			1	2	3	4	5	6	7	8	9	10		11	12		
1	0	0	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	
2	5	3,5=15	0,27	0,06	-0,01	0,05	0,00	-0,07	-0,12	0,00	0,18	0,00	0,16				
3	10	30	1,28	0,82	-0,15	0,64	0,02	-0,36	-0,55	-0,79	-0,01	1,05	-0,07	1,12			
4	15	45	2,65	1,84	-0,85	1,25	0,13	-0,70	-0,99	-1,50	-0,06	2,03	0,33	2,33			
5	20	60	4,49	3,24	-0,85	1,96	0,57	-1,06	-1,23	-2,17	-0,41	3,14	0,76	3,85			
6	25	76	7,60	5,86	1,47	2,57	1,12	1,35	1,26	2,65	0,94	4,26	1,73	6,17			
7	27/22	81	11,13	10,00	1,96	2,58	1,40	1,47	1,28	2,97	1,27	4,86	2,67	8,43			Ścięcie modelu

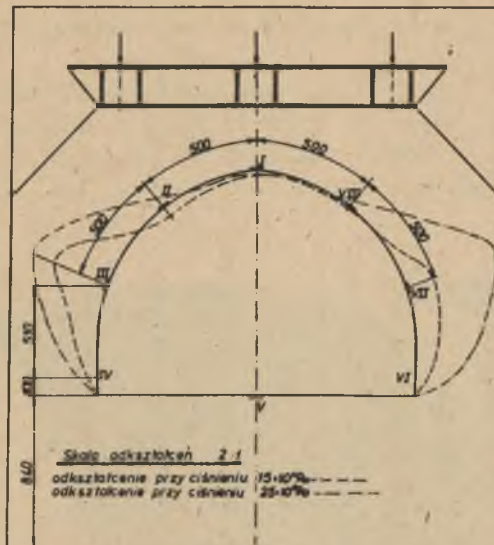


Rys. 5. Schemat narastania ugięć w miarę wzrostu obciążenia dla modelu IIa

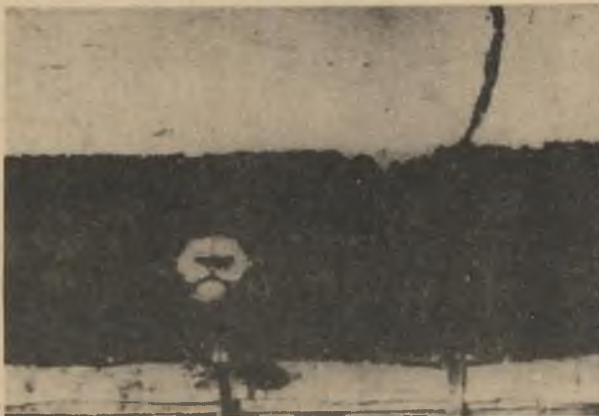
Tablica 4

Wyniki odkształceń obwodowych obrysu wewnętrznego modelu Ila (bez betonu natryskowego)

Lp.	Ciężar 10^6 Pa	Size $P \times 10^4$ (M)	Odkształcenie obwodowy δ (%)									
			I	II	III	IV	V	VI	VII	VIII		
1	0	0	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00
2	5	3-5=15	+0,030	-0,50	-0,775	-0,030	+0,040	-0,035	-0,115	0,045		
3	10	30	+0,00	+1,900	-1,110	-0,140	+0,110	+0,190	-0,370	+0,050		
4	15	45	+0,150	+0,350	-1,620	-0,290	+0,085	-0,430	-0,760	+0,065		
5	20	60	+0,140	-	-2,385	-0,460	+0,025	-0,795	-1,380	+0,065		
6	25	75	+0,140	-0,200	-2,515	-0,570	+0,010	-1,115	-2,760	-0,185		
7	27	81	+0,030	-0,420	-1,925	-0,435	+0,005	-1,200	-3,270	-0,805		



Rys. 6. Wzrost naprężeń obwodowych w charakterystycznych punktach pomiarowych modelu IIA



Rys. 7. Widok pierwszej rysy w części spagowej modelu IIA

$$\sigma = \epsilon \cdot E$$

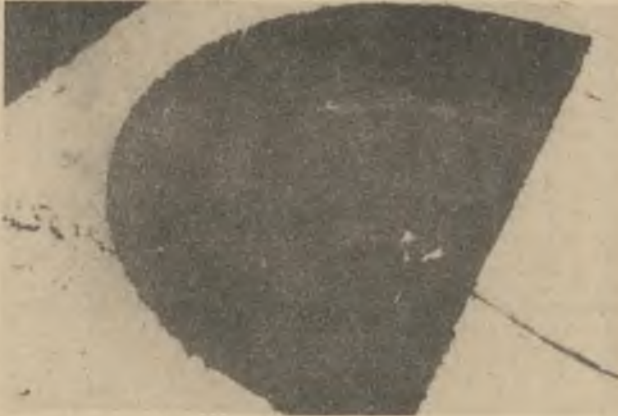
ϵ - odkształcenie,

E - moduł sprężystości tworzywa modelującego górotwór.

Wielkości odkształceń obwodowych odczytane na mostku tensometrycznym w miarę narastania obciążeń co $5 \cdot 10^6$ Pa zestawiono w tablicy 4, zaś stan na-

prężen w poszczególnych punktach modelu przy ciśnieniu $15 \cdot 10^6$ i $25 \cdot 10^6$ Pa naniesiono na rys. 6.

Obserwując model IIa w trakcie obciążenia stwierdzono, że pierwsze pęknięcie w spągu modelu (rys. 7) pojawiło się przy ciśnieniu $15 \cdot 10^6$ Pa. Przy ciśnieniu $25 \cdot 10^6$ Pa ($75 \cdot 10^4$ N) rozpoczął się proces ścinania lewej strony stropowej modelu (rys. 8).



Rys. 8. Widok rozpoczętego procesu ścinania lewej części wezłowiowej modelu IIa

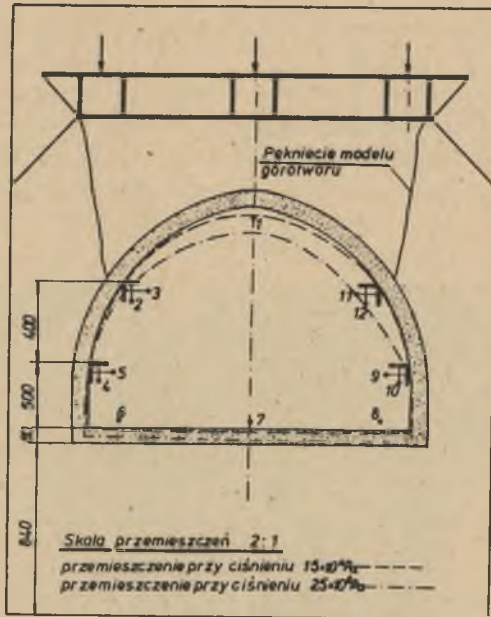
Przy ciśnieniu $27 \cdot 10^6$ Pa następuje praktyczne zniszczenie modelu objawiające się tym, że bez przyrostu obciążenia następowało szybkie przemieszczenie obrysu wewnętrznego. Na tak uszkodzony model wyrobiska (na jego obrys wewnętrzny) naniesiono warstwę betonu natryskowego metodą suchą.

Pomierzone wielkości przemieszczeń obrysu wewnętrznego obudowy dla modelu IIb, podobnie jak dla modelu IIa, zestawiono w tablicy 5, zaś wybrane linie dla ciśnień $15 \cdot 10^6$ i $4 \cdot 10^7$ Pa pokazano na rys. 9.

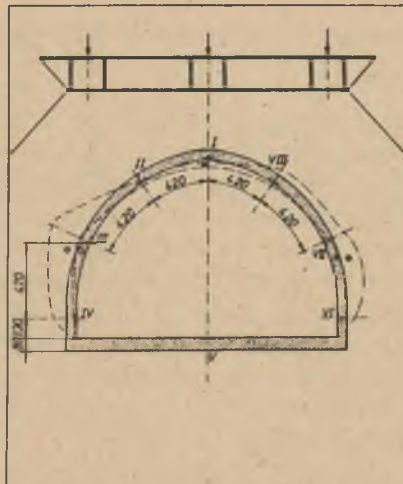
Wielkości odkształceń obwodowych w poszczególnych punktach modelu IIb przy poszczególnych poziomach obciążeń zestawiono w tablicy 6. Stan naprężeń obwodowych w poszczególnych punktach obudowy z betonu natryskowego dla ciśnień $15 \cdot 10^6$ Pa i $4 \cdot 10^7$ Pa przedstawiono na rys. 10.

W trakcie obciążenia modelu IIb do ciśnienia $15 \cdot 10^6$ Pa nie stwierdzono żadnych rys ani pęknięć. Pierwsza rysa pojawiła się w części spągowej przy ciśnieniu $2 \cdot 10^7$ Pa, jednakże tylko w zamodelowanym górotworze. Beton natryskowy (obudowa) nie pękł.

Przy ciśnieniu $3 \cdot 10^7$ Pa pojawiło się pęknięcie w lewej stronie części stropowej modelu (rys. 11), tj. w miejscu ścięcia modelu IIa, przy czym objęło ono również warstwę betonu natryskowego. Przy ciśnieniu $35 \cdot 10^6$ Pa nastąpiło odspojenie betonu natryskowego również na stronie stropowej prawej (rys. 12) oraz drobne rysy tej części górotworu.



Rys. 9. Przyrost przemieszczeń promieniowych dla modelu IIb w miarę przyrostu obciążenia



Rys. 10. Przyrost naprężeń obwodowych w charakterystycznych punktach modelu IIb w miarę przyrostu obciążenia

Tablica 6

Wyniki pomiaru odkształceń obwodowych obudowy modelu IIB

Lp.	Ciężar 10^6 Pa	Siła $P \times 10^4$ N	Odkształcenie obudowy w punktach ϵ ‰									
			I	II	III	IV	V	VI	VII	VIII		
1	0	0	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00
2	5	15	+0,95	0,00	0,00	+0,025	+0,060	+0,020	+0,035	+0,055	+0,035	+0,055
3	10	30	+0,110	+0,030	-0,055	-0,005	-0,005	-0,040	-0,015	+0,045	-0,015	+0,045
4	15	45	+0,100	+0,040	-0,190	-0,035	-0,010	-0,090	-0,085	+0,035	-0,085	+0,035
5	20	60	+0,075	+0,050	-0,190	-0,075	0,000	-0,140	-0,190	+0,015	-0,190	+0,015
6	25	75	+0,070	+0,040	-0,380	-0,145	-0,030	-0,220	-0,285	-0,335	-0,285	-0,335
7	30	90	+0,065	+0,040	-0,510	-0,205	-0,010	-0,290	-0,395	-0,065	-0,395	-0,065
8	35	105	+0,055	+0,080	-0,570	-0,265	-0,010	-0,360	-0,485	-0,090	-0,485	-0,090
9	40	120	+0,065	-0,050	-0,650	-0,365	-0,010	-0,280	-0,285	-0,245	-0,285	-0,245



Rys. 11. Widok pęknięcia lewej części węzłowej modelu IIb wraz z obudową wykonaną z betonu natryskowego



Rys. 12. Widok zarysowania prawej części węzłowej modelu IIb



Rys. 13. Widok końcowego pęknięcia lewej części wezłowiowej modelu IIb



Rys. 14. Widok końcowego pęknięcia prawej części wezłowiowej modelu IIb



Rys. 15. Widok zbliżenia zniszczonego modelu IIb

Przy ciśnieniu $4 \cdot 10^7$ Pa (120×10^5 N) nastąpiło ścięcie części stropowej modelu IIb na szerokości wyrobiska (rys. 13, 14). Ścięcie zamodelowanego górotworu wraz z obudową z betonu natryskowego pokazano w przybliżeniu na rys. 15.

4. WNIOSKI Z BADAŃ MODELOWYCH

Przedstawione w podrozdziale 3 wyniki kompleksowych badań i obserwacji modelu pozwoliły wyciągnąć szereg wniosków, z których najważniejsze to:

1. Poczynione zmiany w organie obciążającym w stosunku do [3], polegające na jego skróceniu, pozwoliły wyraźnie poprawić skuteczność pracy stanowiska badawczego. Model górotworu (model IIa) uległ zniszczeniu już przy ciśnieniu ok. $25 \cdot 10^6$ Pa, zaś model wyrobiska z obudową (model IIb) przy ciśnieniu $4 \cdot 10^7$ Pa.
2. Uzyskany schemat statyczny przy obciążeniu tych modeli jest przejrzysty i stosunkowo łatwy do rozwiązania na drodze teoretycznej.
3. Zniszczenie modelu IIa nastąpiło przy obciążeniu jednostkowym ok. $11 \cdot 10^5$ Pa, zaś przy nałożeniu warstwy betonu natryskowego ten sam model uległ zniszczeniu dopiero przy obciążeniu jednostkowym $17 \cdot 10^5$ Pa.
4. Porównując przemieszczenia przekroju poprzecznego modeli IIa i IIb przy tych samych poziomach obciążeń stwierdzono, że w przypadku pierwszym (model IIa) były one ponad dwukrotnie wyższe.
5. Zniszczenie modelu IIb nastąpiło poprzez ścięcie jego części stropowej uzewnętrżające się oderwaniem w przekrojach krytycznych warstwy beto-

nu natryskowego od zamodelowanego górotworu. Tak więc o nośności tego modelu zadecydowała przyczepność nałożonej warstwy z betonu natryskowego.

6. Badanie rozkładu i stanu naprężeń obwodowych wykazało, że w nałożonej cienkiej warstwie betonu natryskowego pojawiły się duże naprężenia ścisające oraz stosunkowo niewielkie naprężenia rozciągające, co jest szczególnie korzystne dla betonu.

LITERATURA

- [1] Chudek M.: Obudowa wyrobisk korytarzowych i komorowych. Wyd. Śląsk, Katowice 1975.
- [2] Chudek M.: Obudowa kombinowana poziomych wyrobisk górniczych. Zeszyty Naukowe Pol.Śl. Górnictwo z. 13, Gliwice 1965.
- [3] Chudek M., Kosta E.: Badania modelowe nad określeniem warunków współpracy betonu natryskowego układanego metodą moką z górotworem stosowanym w budownictwie podziemnym. Zeszyty Naukowe Pol.Śl. Górnictwo z. 106, Gliwice 1979.
- [4] Chudek M., Kosta E.: Badania nad określeniem parametrów wytrzymałościowych betonu natryskowego dla potrzeb budownictwa górniczego. Budownictwo Górnicze i Kopalnictwo Rud. W druku.
- [5] Buschmann N.: Bruchverformungen und Ausbauwiderstand in rechteckigen Flözstrecken nach Modellversuchen Glückauf - Forschungshefte 1070, nr 31 ss. 133/44.
- [6] Chudek M., Rułka K., Wojtusiak A.: Niektóre problemy projektowania prefabrykowanej obudowy wyrobisk górniczych. Zeszyty Naukowe Pol. Śl. Górnictwo z. 26 Gliwice 1969.
- [7] Chudek M., Rułka K., Wypchol N.: Zastosowanie konstrukcji strunobetonowych do obudowy wyrobisk chodnikowych. Zeszyty Naukowe Pol.Śl. Górnictwo z. 13, Gliwice 1966.
- [8] Kosta E.: Zastosowanie betonu natryskowego jako tworzywa konstrukcyjnego w budownictwie podziemnym kopalń. Praca doktorska, Gliwice 1978.
- [9] Dmitrev A.N.: Kombirnovannaja kriepl z żelazobetonnych stang z nabryzg-betonem dla krepleniye podzemnykh kamer podzemnykh masin. Sachtnee Stroitelstvo 1972, nr 7.

МОДЕЛЬНЫЕ ИССЛЕДОВАНИЯ ДЛЯ ОПРЕДЕЛЕНИЯ УСЛОВИЙ СОВМЕСТНОЙ РАБОТЫ ГОРНОГО МАССИВА С ТОРКРЕТБЕТОНОМ, УКЛАДЫВАЕМОГО СУХИМ МЕТОДОМ, ПРИМЕНЯЕМЫМ В ПОДЗЕМНОМ СТРОИТЕЛЬСТВЕ

Резюме

В статье приводится ход и результаты модельных исследований совместной работы горного массива с торкретбетоном укладываемого, сухим методом на денудированные поверхности горной выработки.

Исследования показали, что воздействие торкретбетона имеет очень большое влияние на устойчивость этих выработок. В заключении приводятся выводы, резюмирующие проведенные исследования.

MODEL TESTING FOR FINDING THE CONDITIONS OF ROCK STRATUM INTERACTION WITH
SPRAYED CONCRETE LAID BY A DRY MENTHOD APPLIED IN THE UNDER - GROUND
ENGINEERING

S u m m a r y

The paper contains the course and the results of model testing of rock stratum interaction with the sprayed concrete laid by a dry method on exposed surfaces of the headings. A very favourable effect of the sprayed concrete on the headings stability was found. Final conclusions summing up the tests are given at the end of the paper.