

Jan MATEJA

Halina MAJZNER-RUŻKA

## BADANIA NAD USTALENIEM PRZYCZEPNOŚCI BETONU NATRYSKOWEGO DO GÓROTWORU W WARUNKACH KOPALNI SOLI "WIELICZKA"

**Streszczenie.** Stały wzrost ilości i asortymentu prac rewaloryzacyjnych w części muzealnej kopalni soli "Wieliczka", skłonił wykonawcę do poszukiwania nowych metod wykonywania i poszerzenia zakresu stosowanych tworzyw konstrukcyjnych. Jednym z interesujących tworzyw, które znajduje szerokie zastosowanie w budownictwie podziemnym jest beton natryskowy. Zastosowanie betonu natryskowego jako tworzywa konstrukcyjnego w warunkach kopalni soli musiało być poprzedzone odpowiednimi badaniami nad ustaleniem: klasy stosowanego betonu i jego przyczepności do tego typu podłoża.

Przeprowadzone w OBR-BG "Budokop" sondażowe badanie poligonowo-laboratoryjne (wyniki których zamieszczono w artykule) wykazały, że stosowany aktualnie w kopalni soli "Wieliczka" beton natryskowy i technologia jego nanoszenia na górotwór nie gwarantują spełnienia wymogów normy w tym zakresie.

### 1. WPROWADZENIE

Rozszerzenie zakresu ilościowego i jakościowego prac renowacyjnych przy zabezpieczaniu starych wyrobisk w kopalni soli "Wieliczka", wymaga bliższego określenia przydatności do tego celu betonu natryskowego. Stosowany dotychczas głównie jako warstwa izolacyjno-osłonowa spełnia pozytywnie swoje zadanie, co skłoniło przedsiębiorstwo wykonawcze do szukania możliwości rozszerzenia jego zastosowania.

W budownictwie tunelowym oraz podziemnym budownictwie górniczym beton natryskowy spełnia coraz częściej rolę tworzywa konstrukcyjnego i niejednokrotnie zwłaszcza w skałach o znacznej zwięzłości, jest stosowany do wykonywania samodzielnej obudowy wyrobisk górniczych. Zastosowanie betonu natryskowego jako tworzywa konstrukcyjnego uwarunkowane jest z jednej strony uzyskaniem w warunkach dołowych odpowiedniej klasy, z drugiej zaś odpowiedniej przyczepności do zabezpieczanego podłoża. Z dotychczasowych doświadczeń wynika, że przy zastosowaniu posiadanego sprzętu krajowego można uzyskać w warunkach dołowych odpowiednią klasę betonu natryskowego, brak natomiast bliższych danych o warunkach jego współpracy po nałożeniu na górotwór zbudowany z soli i skał towarzyszących.

Dla uzyskania bliższych informacji o przyczepności betonu natryskowego do podłoża w kopalni soli "Wieliczka" należało przeprowadzić odpowiednie badania laboratoryjno-poligonowe z zastosowaniem podstawowych receptur.

Badania takie przeprowadzono w OBR-BG "BUDOKOP" na zlecenie "Hydrokopu" - Kraków, a uzyskane wyniki przedstawiono w kolejnych rozdziałach niniejszej publikacji.

## 2. CHARAKTERYSTYKA BADAN POLIGONOWYCH

### 2.1. Zakres badań

Do badań wytypowano dwie receptury mieszanek betonowych opracowane przez; CHEMKOP [3] oznaczoną -CH oraz BUDOKOP - [4] oznaczoną B. Przedstawiają się one następująco:

#### Receptura - CH

|                                                 |         |
|-------------------------------------------------|---------|
| - cement portlandzki "Ożarów" 35 $\sqrt$        | 468 kg  |
| - piasek średni (z Kłodawy lub Wieliczki)       | 1634 kg |
| - solanka 20% o gęstości 1,15 g/cm <sup>3</sup> | 233 l   |

#### Receptura - B

|                                 |         |
|---------------------------------|---------|
| - cement portlandzki 35 $\sqrt$ | 400 kg  |
| - kruszywo (piasek)             | 1700 kg |
| - woda zarobowa                 | 220 kg  |

Zgodnie z postawionym celem przeprowadzono dwa rodzaje badań:

- przyczepności betonu natryskowego do górotworu na stanowiskach badawczych oznaczonych I, II i III,
- wytrzymałości betonu natryskowego na ściskanie na stanowisku oznaczonym IV.

Przyczepność betonu natryskowego badano do trzech rodzajów górotworu, a mianowicie do utworów:

- soli na stanowisku nr I,
- zubru na stanowisku nr II,
- iłowca marglistego na stanowisku nr III.

Zgodnie z sugestią przedstawioną w pracy [3] dotyczącą uzyskania znacznie lepszej przyczepności betonu natryskowego do skał obficie zwilżanych wodą, nałożono beton natryskowy na górotwór suchy - s i obficie zwilżony - w.

Wytrzymałość betonu natryskowego na ściskanie badano metodą Kaindla 5 po 4, 7, 14 i 28 dobach oraz po 28 dobach metodą formowania w warunkach dołkowych ciała próbnego o wymiarach 50x50x10 cm. Biorąc pod uwagę prawdopodobieństwo wystąpienia korozji betonu, zwłaszcza wykonanego na bazie solanki, część sworzni pomiarowych do badań metodą Kaindla, przewidziano do wyrywania po 2 latach.

## 2.2. Lokalizacja stanowisk badawczych

Stanowiska badawcze nr I i II zlokalizowane zostały w "szybiku ze zjazdem ludzi na linie" ok. 15 m poniżej Komory Kieratu na poz. II niższym. Podłoże na ociosie prawym oceniono jako sól szarobiałą (stanowisko nr I), zaś na ociosie przeciwległym jako iłowiec przerośnięty (stanowisko nr III). Stanowiska badawcze nr II i IV zlokalizowano na ociosach Komory Kieratu. Podłoże dla stanowiska II oceniono jako zuber. Rodzaj podłoża dla stanowiska IV nie miał znaczenia. Schemat rozmieszczenia stanowisk pokazano na rys. 1.

## 2.3. Wykonanie stanowisk badawczych

Warstwy betonu natryskowego do badań wykonane zostały przez specjalistów "Hydrokopu", sprzętem i sposobem rutynowym stosowanym w kopalni przy pracach zabezpieczających w komorze "Michał-Saurau". Beton natryskowy (torkret) w KS "Wieliczka" wykonywany jest metodą suchą przy użyciu betoniarki natryskowej typu BM60 produkcji ZSRR. Specjalnie suszony piasek mieszany jest z cementem ręcznie.

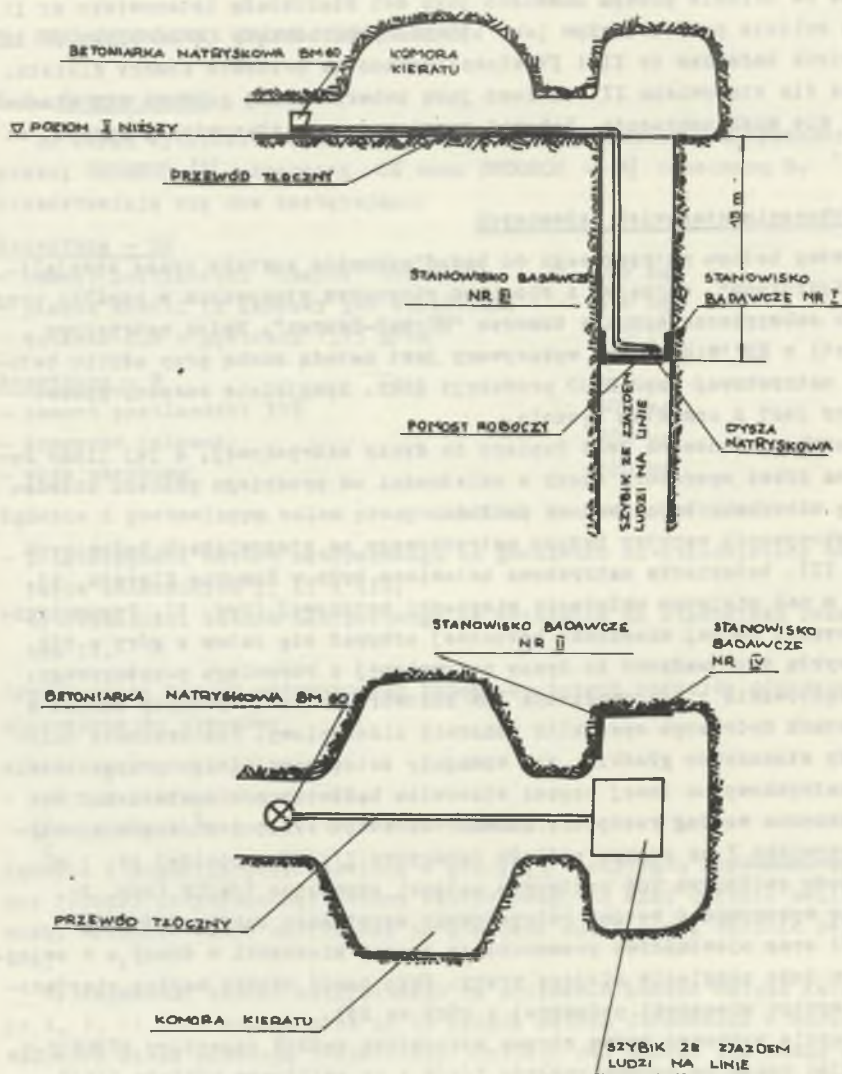
Woda zarobowa dodawana jest dopiero do dyszy natryskowej, a jej ilość regulowana przez operatora dyszy w zależności od przebiegu procesu układania się mieszanki betonowej na podłożu.

Przy wykonywaniu warstwy betonu natryskowego na stanowiskach badawczych nr I i III, betoniarka natryskowa ustawiona była w Komorze Kieratu, tj. ok. 15 m nad miejscem układania mieszanki betonowej (rys. 1). Pneumatyczny transport suchej mieszanki betonowej odbywał się zatem z góry w dół. Wodę zwykłą doprowadzono do dyszy natryskowej z rurociągu p-pożarowego. Do przygotowania i doprowadzenia 20% roztworu solanki wykonany został w warsztatach Hydrokopu specjalny zbiornik ciśnieniowy. Powierzchnie ociosów były stosunkowo gładkie, nie wymagały zatem specjalnego przygotowania. Beton natryskowy na lewej części stanowisk badawczych o powierzchni ok. 2 m<sup>2</sup> wykonano według receptury CHEMKOP-u, w tym około 1 m<sup>2</sup> w górnej części stanowiska I na suchym podłożu oznaczono I/s/CH a poniżej ok. 1 m<sup>2</sup> na podłożu zwilżonym 20% roztworem solanki oznaczono I/w/CH (rys. 2). W czasie wykonywania betonu natryskowego zanotowano bardzo duży odpad (40-50%) oraz niewłaściwe przemoczenie suchej mieszanki w dyszy, a w związku z tym duże zapylenie miejsca pracy. Jako powód uznano bardzo nierównomierny wpływ mieszanki podawanej z góry na dół.

Następnie wykonano prawą stronę stanowiska według receptury BUDOKOP-u, oznaczając część na suchym podłożu I/s/B i na zwilżonym podłożu I/w/B. W dalszym ciągu zanotowano duży odpad i nieodstateczne przemoczenie suchej mieszanki. Analogicznie wykonano stanowisko III na przeciwległym ociosie oznaczając próby odpowiednio III/s/CH, III/w/CH, III/s/B i III/w/B.

W nieco korzystniejszych warunkach wykonane zostały warstwy betonu natryskowego na stanowiskach zlokalizowanych w Komorze Kieratu tj. na tym

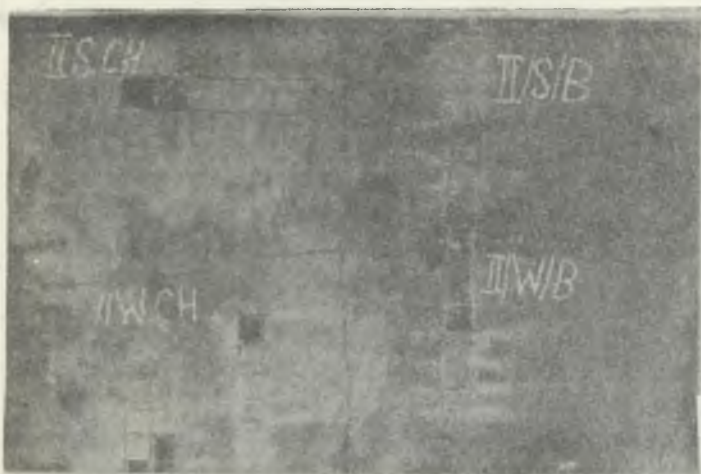




Rys. 1. Schemat lokalizacji stanowisk badawczych na kopalni soli Wieliczka



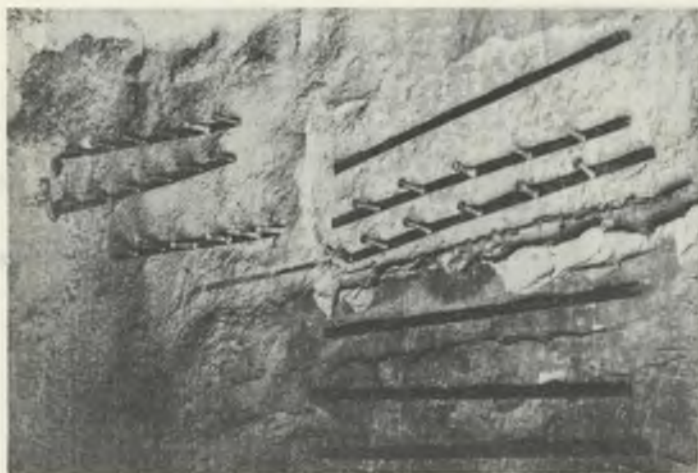
Rys. 2. Widok stanowiska badawczego nr I



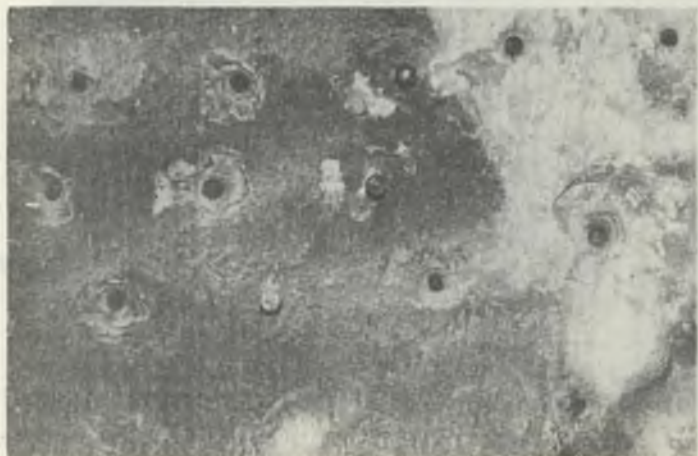
Rys. 3. Widok stanowiska badawczego nr II

samym poziomie na którym ustawiona była betoniarka natryskowa. Wpływ mieszanki betonowej był bowiem bardziej równomierny. Stanowisko nr II wykonano analogicznie jak poprzednio (rys. 3).

W stanowisku IV zamocowano przed wykonaniem warstwy betonu natryskowego 30 szt. sworzni pomiarowych (rys. 4, 5). Lewą stronę stanowiska wykonano według receptury CHEMKOP-u, prawą według receptury BUDOKOP-u oznaczając próby odpowiednio IV/CH i IV/B. Równocześnie z warstwą betonową na ocio- sie wykonano dwa ciała próbne CH i B o wymiarach 0,5 x 0,5 x 0,10 m natryskując mieszankę betonową o odpowiedniej recepturze na ustawione pod kątem 45° płyty drewniane.



Rys. 4. Widok zamocowania sworzni pomiarowych na stanowisku badawczym

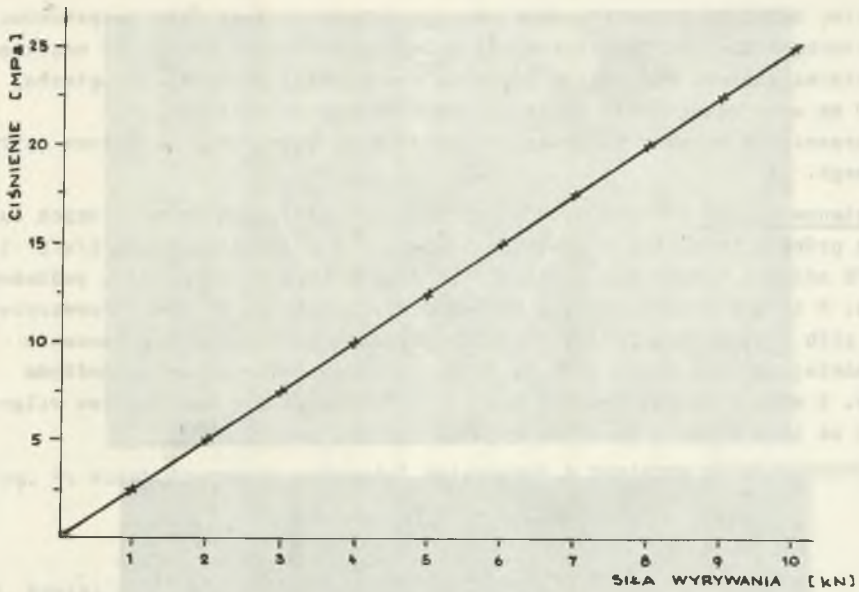


Rys. 5. Widok stanowiska badawczego nr IV po zabetonowaniu sworzni pomiarowych

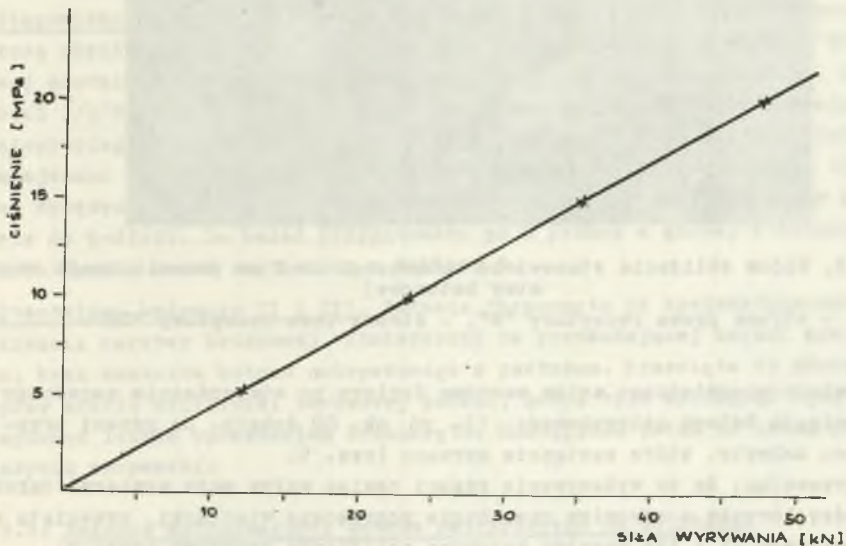
#### 2.4. Przygotowanie próbek do badań

Do badania przyczepności betonu natryskowego wykonano specjalną wrywkę o zakresie siły wrywania od 0 do 10 kN. Badania wytrzymałości betonu natryskowego na ściskanie metodą Kaindla przeprowadzono przy użyciu wrywarki konstrukcji OBR-BG "Budokop" o zakresie siły wrywania od 0 do 50 kN. Przed badaniami wrywarki zostały wycechowane. Ich charakterystyki przedstawiono na rys. 6 i 7.





Rys. 6. Zależność siły wrywania siłownika W-1 od ciśnienia medium w jego układzie hydraulicznym



Rys. 7. Zależność siły wrywania siłownika W-5 od ciśnienia medium w jego układzie hydraulicznym

Warstwę betonową przecięto obrotowo specjalnie do tego celu przystosowaną wiertarką EWRO-600. Przystosowanie polegało na przymocowaniu do wrzeciona wiertarki koronki widiowej o średnicy wewnętrznej  $\varnothing$  73 mm; zewnętrznej  $\varnothing$  90 mm oraz zamocowaniu wiertarki na podporze mechanicznej.

Do przecięcia warstwy przystąpiono po 27 dobach twardnienia betonu natryskowego.

Na stanowisku nr I wiercono w 24 miejscach rozłożonych po wszystkich czterech próbach (rys. 2). W czasie przewiercenia prób oznaczonych I/s/B i I/w/B rdzenie urwały się dokładnie na styku warstwy betonowej z podłożem (rys. 8 strona prawa). Próbek do badań nie uzyskano. Podczas przewiercenia prób oznaczonych I/s/CH i I/w/CH, rdzenie wyłamywały się znacznie wcześniej, a mianowicie od 5 do 30 mm przed przewierceniem do podłoża (rys. 8 strona lewa). Beton w miejscu wyłamywania się był jeszcze wilgotny i na tyle miękki, że można go było rysować paznokciem.



Rys. 8. Widok zbliżenia stanowiska badawczego nr I po przewierceniu warstwy betonowej

- strona prawa receptury "B", - strona lewa receptury "CH"

Całkowicie przewiercono zatem warstwę dopiero po stwierdzeniu zupełnego wyschnięcia betonu natryskowego, tj. po ok. 60 dobach. Do rdzeni przyklejono uchwyty, które następnie wyrwano (rys. 9)

Podejrzewając, że na wyłamywanie rdzeni pewien wpływ może wywierać tarcie pomiędzy koronką a rdzeniem oraz bicie poprzeczne wiertarki, przecięto w stanowiskach II i III warstwę betonową szlifierką tarczową (rys. 3).

Próbki na stanowisku IV nie wymagały specjalnego przygotowania. Do wrywania sworzni pomiarowych przystąpiono w założonym czasie tj. po 4, 7, 14 i 28 dobach.





Rys. 9. Widok fragmentu czynności związanych z pomiarem przyczepności na stanowisku nr I

### 3. Wyniki badań

#### 3.1. Badania przyczepności betonu natryskowego do górotworu

Stanowisko badawcze I. W związku z trudnościami w uzyskiwaniu rdzeni metodą obrotową przystąpiono do systematycznego opukiwania warstwy betonowej młotkiem o masie 200 g. Na całej prawej części stanowiska tj. na próbach I/s/B i I/w/B odgłos był głuchy, charakterystyczny dla odspojonych, nieprzylegających do podłoża warstw. Na próbach I/s/CH i I/w/CH tylko miejscami odgłos był głuchy. Na przeważającej jednak powierzchni uzyskano sprężyste odbicie, charakterystyczne dla warstw przylegających szczelnie do podłoża. Do badań przygotowano po 6 próbek z górnej i dolnej części. Wyniki badań zestawiono w tablicy 1.

Stanowisko badawcze II i III. Badania rozpoczęto od systematycznego opukiwania warstwy betonowej. Stwierdzono na przeważającej części powierzchni brak kontaktu betonu natryskowego z podłożem. Przecięte do górotworu przy użyciu szlifierki tarczowej próbki, można było wyciągnąć ręką lub wyłamać lekkim podważeniem śrubokrętu. Odstąpiono zatem od badań przy użyciu wrywarki.

#### 3.2. Badania wytrzymałości betonu natryskowego na ściskanie metodą Kaindla

Badania przeprowadzono zgodnie z BN-76/0434-06 według metodyki opisanej w karcie programowej [6]. Wyniki badań zestawiono w tablicy 2.

Tabela 1

Wyniki badań przyczepności betonu natryskowego do górotworu w kopalni soli "Wieliczka"

| Ip. | Parametry                                                       | Oznaczenie próby        |       |       |       |       |   |        |   |       |       |       |       |
|-----|-----------------------------------------------------------------|-------------------------|-------|-------|-------|-------|---|--------|---|-------|-------|-------|-------|
|     |                                                                 | I/s/CH                  |       |       |       |       |   | I/w/CH |   |       |       |       |       |
|     |                                                                 | N u m e r y   p r ó b k |       |       |       |       |   |        |   |       |       |       |       |
|     |                                                                 | 1                       | 2     | 3     | 4     | 5     | 6 | 1      | 2 | 3     | 4     | 5     | 6     |
| 1   | Cisnienie medium w wyrywarce (MPa)                              | 1,0                     | 1,1   | 1,8   | 1,4   | 1,1   |   | 1,0    |   | 0,5   | 1,1   | 2,0   | 1,0   |
| 2   | Średnica próbki (cm)                                            | 7,2                     | 7,1   | 7,3   | 7,2   | 7,2   |   | 7,2    |   | 7,2   | 7,1   | 7,4   | 7,2   |
| 3   | Siła wyrywania P (MN) x 10 <sup>-3</sup>                        | 0,40                    | 0,44  | 0,72  | 0,56  | 0,44  |   | 0,40   |   | 0,24  | 0,44  | 0,80  | 0,40  |
| 4   | Powierzchnia próbki F (m <sup>2</sup> ) x 10 <sup>-4</sup>      | 40,7                    | 39,6  | 41,9  | 40,7  | 40,7  |   | 40,7   |   | 40,7  | 39,6  | 44,2  | 40,7  |
| 5   | Przyczepność betonu natryskowego do górotworu $\bar{t}$ p (MPa) | 0,098                   | 0,111 | 0,172 | 0,138 | 0,108 |   | 0,098  |   | 0,059 | 0,111 | 0,181 | 0,098 |
| 6   | Wartość średnia $\bar{t}$ p (MPa)                               |                         |       | 0,125 |       |       |   |        |   |       | 0,109 |       |       |

\* Czasie zakładania  
WYMIARKI WYPADKAWYMIARKI REKĄ LEKKO  
CIĄGĄJĄC ZA SWOZEM

Wyniki badań wytrzymałości na ściskanie betonu natryskowego - wykonane metodą Kaindla

| Lp. | Parametry                                                       | Oznaczenie próby |      |      |       |      |       |       |      |       |       |       |       |               |      |      |       |       |       |       |       |      |      |      |       |
|-----|-----------------------------------------------------------------|------------------|------|------|-------|------|-------|-------|------|-------|-------|-------|-------|---------------|------|------|-------|-------|-------|-------|-------|------|------|------|-------|
|     |                                                                 | IV/CH            |      |      |       |      |       |       |      |       |       |       |       | IV/B          |      |      |       |       |       |       |       |      |      |      |       |
|     |                                                                 | 4 d              |      |      | 7 d   |      |       | 14 d  |      |       | 28 d  |       |       | 4 d           |      |      | 7 d   |       |       | 14 d  |       |      | 28 d |      |       |
|     |                                                                 | Numery próbek    |      |      |       |      |       |       |      |       |       |       |       | Numery próbek |      |      |       |       |       |       |       |      |      |      |       |
|     |                                                                 | 1                | 2    | 3    | 4     | 5    | 6     | 7     | 8    | 9     | 10    | 11    | 12    | 1             | 2    | 3    | 4     | 5     | 6     | 7     | 8     | 9    | 10   | 11   | 12    |
| 1   | Ciśnienie medium w wyrywaniu (MPa)                              | 22               | 26   | 15,6 | 40    | 41   | 50    | 8,0   | 11,6 | 8,0   | 7,5   | 11    | 10    | 25            | 17   | 18   | 60    | 55    | 50    | 7     | 10    | 4    | 14   | 3    | 18    |
| 2   | Wysokość próbki h (m) $10^{-3}$                                 | 32               | 31   | 15   | 35    | 34   | 35    | 29    | 36   | 28    | 25    | 26    | 22    | 30            | 22   | 20   | 35    | 32    | 30    | 20    | 21    | 10   | 39   | 9    | 44    |
| 3   | Siła wyrywania p-3 (MN) $\times 10^{-3}$                        | 8,8              | 10,4 | 6,2  | 16    | 16,4 | 20    | 19    | 27,5 | 19    | 17,5  | 26    | 23,5  | 10            | 6,8  | 7,2  | 24    | 22    | 20    | 16,5  | 23,5  | 10   | 33   | 8    | 43,5  |
| 4   | Powierzchnia $\times 10^{-4}$ ścinania F (m <sup>2</sup> )      | 59,2             | 57,9 | 39,3 | 63,3  | 61,9 | 63,3  | 55,3  | 64,7 | 54,0  | 50,3  | 61,5  | 46,7  | 56,6          | 46,7 | 44,4 | 63,3  | 59,2  | 56,6  | 44,4  | 45,5  | 35,1 | 68,8 | 34,4 | 75,9  |
| 5   | Wytrzymałość na ścinanie R <sub>tt</sub> (MPa)                  | 1,49             | 1,80 | 1,58 | 2,53  | 2,65 | 3,16  | 3,44  | 4,25 | 3,52  | 3,48  | 6,05  | 6,03  | 1,77          | 1,46 | 1,62 | 3,79  | 3,57  | 3,53  | 3,72  | 5,16  | -    | 4,80 | -    | 5,73  |
| 6   | Wytrzymałość na ściskanie R <sub>ct</sub> (MPa)                 | 5,96             | 7,2  | 6,32 | 10,12 | 10,6 | 12,64 | 13,76 | 17,0 | 14,08 | 13,92 | 20,20 | 20,12 | 7,06          | 5,84 | 6,48 | 15,16 | 14,28 | 14,12 | 14,88 | 20,64 | -    | 19,2 | -    | 22,92 |
| 7   | Średnia wartość wytrzymałości na ściskanie R <sub>c</sub> (MPa) | 6,5              |      | 11,1 |       |      | 14,9  |       |      | 18,1  |       |       | 6,5   |               |      | 14,5 |       |       | 17,8  |       |       | 21,1 |      |      |       |



Do poszczególnych rubryk wpisano:

- 1 - ciśnienie medium w układzie hydraulicznym wrywararki odczytane na manometrze w (MPa),
- 2 - wysokość próbki mierzona suwamiarką po wyrwaniu (m),
- 3 - siła wyrwania próbki  $P$  określona z rys. 6 i 7 w MN.  
Do wyrwania próbek po 4 i 7 d używano wrywarkę W-1, do próbek po 14 i 28 d wrywarkę W-5,
- 4 - powierzchnia przekroju ścinanego  $F$  w  $m^2$  obliczona ze wzoru

$$F = \pi(R + r) \sqrt{h^2 + (R - r)^2} \quad (1)$$

Dla  $R = 3,5$  cm i  $r = 1,5$  cm [5]

$$F = 15,7 \cdot \sqrt{h^2 + 4} \quad (2)$$

- 5 - wytrzymałość betonu natryskowego na ścinanie po okresie twardnienia  $R_{tt}$  w MPa obliczona ze wzoru

$$R_{tt} = \frac{P}{F} \quad (3)$$

- 6 - wytrzymałość betonu natryskowego na ściskanie  $R_{ct}$  w MPa obliczona ze wzoru

$$R_{ct} = R_{tt} \quad (4)$$

- 7 - średnia wartość wytrzymałości betonu natryskowego na ściskanie  $R_c$  w MPa

### 3.3. Badania wytrzymałości betonu natryskowego na ściskanie metodą pobierania próbek z ciał próbnych

Wykonane sposobem opisanym w 2.3 ciała próbne stwardniały przez okres 14 dni w identycznych warunkach jak beton natryskowy na stanowisku IV. Następnie zostały one przetransportowane do laboratorium budowlanego OBR-BD "Budokop", gdzie pocięto je na próbki  $10 \times 10 \times 10$  cm i po 28 dniach poddano je badaniom wytrzymałościowym zgodnie z BN-75/B-06250. Wyniki badań podano w tablicy 3.

## 4. Analiza wyników badań

### 4.1. Badania przyczepności betonu natryskowego do górotworu

Z przeprowadzonych badań poligonowych wynika, że mierzalną przyczepność betonu natryskowego w granicach 0,1-0,18 MPa uzyskano tylko w przypadku nakładania warstwy betonowej na górotwór określony jako sól szaro-

Tablica 3

Wyniki badań wytrzymałości na ściskanie betonu natryskowego - wykonane metodą ciała próbnego

| Lp. | Oznaczenie ciała próbnego |                |                                  |       |                |                                       |                |                |                |                                  |       |                |                                       |                |
|-----|---------------------------|----------------|----------------------------------|-------|----------------|---------------------------------------|----------------|----------------|----------------|----------------------------------|-------|----------------|---------------------------------------|----------------|
|     | CH                        |                |                                  |       |                |                                       | B              |                |                |                                  |       |                |                                       |                |
|     | Siła niszcząca            | Wymiary próbki |                                  |       | R <sub>i</sub> | R <sub>c</sub><br>R <sub>i</sub> ·0,9 | F <sub>0</sub> | Siła niszcząca | Wymiary próbki |                                  |       | R <sub>i</sub> | R <sub>c</sub><br>R <sub>i</sub> ·0,9 | R <sub>c</sub> |
|     |                           | a              | b                                | F     |                |                                       |                |                | a              | b                                | F     |                |                                       |                |
| MN  | cm                        | cm             | m <sup>2</sup> ·10 <sup>-4</sup> | MPa   | MPa            | MPa                                   | MN             | cm             | cm             | m <sup>2</sup> ·10 <sup>-4</sup> | MPa   | MPa            | MPa                                   |                |
| 1   | 0,154                     | 10,05          | 10,30                            | 103,5 | 14,88          | 13,39                                 | 0,120          | 10,07          | 9,98           | 101,4                            | 11,83 | 10,65          |                                       |                |
| 2   | 0,251                     | 10,20          | 10,25                            | 104,6 | 24,00          | 21,60                                 | 0,136          | 10,05          | 10,02          | 101,0                            | 13,47 | 12,12          |                                       |                |
| 3   | 0,159                     | 9,80           | 10,15                            | 99,5  | 15,80          | 14,22                                 | 0,125          | 10,00          | 9,97           | 100,0                            | 12,50 | 11,25          | 14,28                                 |                |
| 4   | 0,108                     | 10,06          | 10,12                            | 101,8 | 10,61          | 9,55                                  | 0,184          | 10,03          | 10,0           | 100,6                            | 18,29 | 16,46          |                                       |                |
| 5   | 0,092                     | 9,95           | 9,83                             | 97,8  | 9,06           | 8,15                                  | 0,205          | 10,06          | 9,98           | 101,2                            | 20,26 | 18,23          |                                       |                |
| 6   | 0,170                     | 8,82           | 9,95                             | 87,8  | 19,37          | 17,43                                 | 0,191          | 10,07          | 10,05          | 101,4                            | 18,83 | 16,95          |                                       |                |

Odchylenie standardowe

$$S_t(\text{CH}) = \frac{(R_{01} - R_0)^2}{n-1} = \frac{124,96}{5} = 4,98$$

$$S_t(\text{B}) = \frac{54,51}{5} = 3,30$$

Współczynnik zmienności

$$\varphi(\text{CH}) = \frac{S_t \cdot 100}{R_c} = \frac{4,98}{14,06} \cdot 100 = 35,4\%$$

$$\varphi(\text{B}) = \frac{3,30}{14,28} \cdot 100 = 23,12\%$$

biała i wykonanej według receptury CHEMKOP-u tj. z wodą zarobową w postaci 20% roztworu solanki. We wszystkich pozostałych przypadkach bez względu na stosowaną recepturę i rodzaj górotworu, nie tylko nie uzyskano mierzalnej przyczepności betonu natryskowego ale miejscami stwierdzono w ogóle brak kontaktu warstwy betonowej z podłożem.

Nie stwierdzono również wyższych wartości przyczepności betonu natryskowego do górotworu obficie zraszane wodą zarobową. Próby całkowitego wyjaśnienia przedmiotowych zjawisk w oparciu o analizę wyników badań i obserwacji zanotowanych w czasie realizacji badań nie dały spodziewanych wyników. Na powierzchni kontaktu betonu natryskowego z podłożem nakładają się bowiem złożone procesy korozji powierzchni betonu spowodowane intensywną działalnością stężonych chlorków sodu jak i erozji na skutek rozpuszczenia powierzchni górotworu w wyniku działania nadmiernej wilgoci zawartej w mieszance betonowej. Na powierzchni styku próbek wyciętych w stanowisku badawczym nr III przyklejona była cienka warstwa iłowca.

Odmienne zachodzą również na powierzchni kontaktowej procesy stwardnienia betonu wykonanego według receptury CHEMKOP-u i BUDOKOP-u. Przecięte próbki świeżego betonu natryskowego wykonanego przy użyciu wody zwykłej i nałożonego na zuber można było już po kilku godzinach ręcznie wyciągnąć. Beton na powierzchni styku był stwardniały. Inaczej zachował się beton zawierający 20% roztworu solanki. Przewiercona po 27 dobach warstwa betonowa była w strefie kontaktowej jeszcze wilgotna.

Znaczny wpływ na przyczepność betonu natryskowego do podłoża wywiera również sposób jego wykonywania. W metodzie suchej, zwłaszcza w przypadku stosowania betoniarek zbiornikowych i roztworu solanki (jako woda zarobowa) strumień bardziej suchej mieszanki betonowej nie jest równomiernie przemoczony. Dozowana woda raczej otula mieszankę i nie ulega wymieszaniu z nią. Wpływa to niekorzystnie na jednorodność betonu natryskowego a zatem również i na jego przyczepność do podłoża. Korzystniejszą metodą pod tym względem jest metoda mokra, zwłaszcza z transportem pneumatycznym [8].

#### 4.2. Badania wytrzymałości betonu natryskowego na ściskanie

Uzyskane wyniki badań wytrzymałości betonu natryskowego na ściskanie zarówno metodą Kaindla jak i ciała próbnego pozwoliłyby zaliczyć betony natryskowe "CH" i "B" do klasy B-10, gdyby nie duże wskaźniki zmienności (powyżej 20%) wynoszące odpowiednio:

$$(CH) = 35,4\% \quad (B) = 23,12$$

a obliczone dla powierzchni warstwy betonowej  $F = 0,25 \text{ m}^2$ . Wskaźniki te świadczą o bardzo dużej niejednorodności betonu (rys. 10 i 11), zwłaszcza wykonanego przy użyciu 20% roztworu solanki, będącej wynikiem stosowanego urządzenia i sposobu przygotowania mieszanki.





Rys. 10. Widok z boku próbki wyciętej ze stanowiska badawczego nr III



Rys. 11. Widok powierzchni kontaktowych próbek

## 5. WNIOSKI

W oparciu o uzyskane wyniki badań poligonowych parametrów wytrzymałościowych betonu natryskowego przeprowadzonych w warunkach Kopalni Soli w Wieliczce można sformułować następujące wnioski:

1. Z uwagi na niedostateczny poziom wykonania betonu zgodnie z pracą [2] (tabl. 12) oraz nie uzyskania wymaganej normą [1] przyczepności do górotworu ( $\sigma_p < 0,2$  MPa), beton natryskowy wykonywany aktualnie w warunkach Kopalni Soli w Wieliczce nie powinien być stosowany jako element konstrukcyjny obudowy wyrobisk górniczych. Może on być natomiast stosowany jako warstwa izolacyjna w miejscach gdzie występują odsłonięte skały

płone, pod warunkiem nakładania go na przykotwionej siatce odpornej na działania korozyjne.

2. Podstawą przyczyną niedostatecznego poziomu wykonywania betonu w warunkach Kopalni Soli w Wieliczce jest stosowana metoda transportu bardzo suchej, ręcznie przygotowanej mieszanki betonowej. Proponuje się przejście na metodę pneumatycznego transportu mokrej mieszanki, która przy stosowaniu kruszywa o ziarnach do 20 mm i wymuszonego sposobu mieszania składników zapewni zarówno dobry poziom wykonania jak i wyższe parametry wytrzymałościowe betonu natryskowego [8].

3. Dla pełnego wyjaśnienia zjawisk zachodzących na kontakcie warstwy betonu natryskowego i górotworu składającego się z utworów solnych, a mających ujemny wpływ na uzyskanie wymaganej przyczepności, zachodzi potrzeba przeprowadzenia kompleksowych badań teoretycznych, laboratoryjnych i poligonowych.

#### LITERATURA

- [1] BN-76/0434-06. Wyrobiska korytarzowe i komorowe. Beton natryskowy. Wymagania i badania.
- [2] PN-75/B-06250. Beton z cły.
- [3] Praca OBROSCH CHEMKOP: Opracowanie receptur do obudowy torkretowej w górnictwie solnym. Kraków
- [4] Wpis do książki budowy z dn. 10.08.1978.
- [5] Kaindl F.: Zur Güteprüfung der Frühgestigkeit von Spritzbeton. Tonind. - Ztg. Nr 6, 1966.
- [6] Praca OBR-BG Budokop pt.: Badania poligonowe parametrów wytrzymałościowych betonu natryskowego (torkretu) w warunkach K.S. "Wieliczka". Mysłowice, marzec, 1984.
- [7] Mateja J., Rułka K.: Przegląd urządzeń do wykonywania betonu natryskowego. Budownictwo Górnicze 1972, nr 3.
- [8] Lubański S.: Dobór parametrów transportu pneumatycznego podajnikami zbiornikowymi. Przegląd Górniczy 1/1981.

Recenzent: Prof. dr hab. inż. Kazimierz Podgórski

Wpłynęło do Redakcji w czerwcu 1984 r.

ИССЛЕДОВАНИЯ НАД УСТАНОВЛЕНИЕМ ПРИЦЕПНОСТИ БЕТОНА НАПЫЛЕННОГО  
НА ГОРООБРАЗОВАНИЕ В УСЛОВИЯХ ШАХТЫ КАМЕННОЙ СОЛИ "ВЕЛИЧКА"

Р е з ю м е

В статье приведены результаты зондирующих полевых-лабораторных исследований проведенных в КИБ "Будокоп". Исследовался напыленный бетон и технология его наложения на горообразование. Показано, что имеющаяся технология не гарантирует удовлетворения требованиям нормы в этом размере.

STUDYING THE ADHERENCE OF SHOTCRETE TO A ROCK  
IN THE CONDITIONS OF THE "WIELICZKA" SALT-MINE

S u m m a r y

Number and variety of preservation works in a museum part of the "Wieliczka" salt-mine still increase. This fact was a reason of seeking for not only new methods of making structural materials but of widening the range of applied materials as well. One of the materials widely applied in underground construction is shotcrete. Before shotcrete was applied as a structural material, there had been carried out proper stueying of its class and its adherence. Traverse and laboratory sounding tests (their results are contained in the article) were carried out in OBR-BG "Budokop". They showed that the shotcrete applied now in the "Wieliczka" salt-mine and technology of putting it on the rock do not comply with the requirements of a norm in this range.