

Bronisław BARCHAŃSKI

Instytut Projektowania i Budowy Kopalń

AGH Kraków

WYBRANE ZAGADNIENIA ZWIĄZANE Z WYKONYWANIEM
WYROBISK WIELKOGABARYTOWYCH NA DUŻYCH GŁĘBOKOŚCIACH
W KOPALNIACH WĘGLA (1400 m - 1500 m)

Streszczenie. Kopalnia "Preussag" - Ibbenbüren - RFN jest najgłębszą czynną kopalnią węgla kamiennego w świecie (1545 m). Eksploatacja węgla na takiej głębokości ze względu na bardzo trudne warunki górniczo-geologiczne (znaczne ciśnienie górotworu, wyciskanie spągu, wysoka temperatura górotworu, zagrożenie metanowe i inne) wymaga stosowania nowatorskich rozwiązań w trakcie wykonywania wyrobisk wielkogabarytowych.

Przykładem tych rozwiązań są:

- zastosowanie na szeroką skalę Nowej Austriackiej Techniki Tunelowej,
- żelbetowe elementy obudowy podszycia upodatnione wg systemu "Powondra",
- wzmocniona obudowa wyrobisk korytarzowych.

SELECTED PROBLEMS OF EXECUTION OF LARGE-SIZE HEADINGS
AT GREAT DEPTHS (1400 m - 1500 m) IN COAL MINES

Summary. The Preussag mine in Ibbenbüren (Germany) is the deepest operating coal mine in the world. Mining at such depths requires applying innovative methods during the execution of large-size headings because of difficult mining and geological conditions (significant rockmass pressure, floor heave, high rockmass temperature, methane hazard and others).

Here are examples of these methods:

- large-scale application of the New Austrian Tunnel Technique;
- reinforced concrete elements of the shaft bottom lining, adapted according to the Powondra system;
- strengthened linings of dog headings.

НЕКОТОРЫЕ ВОПРОСЫ, СВЯЗАННЫЕ С ПРОВЕДЕНИЕМ МНОГОГАБАРИТНЫХ ШАХТАХ 1400-1500М

Резюме. Шахта "Preussag - Ibbenbüren" в ФРГ является самой глубокой действующей каменноугольной шахтой в мире (1545 м). Эксплуатация угля на такой глубине из-за очень сложных горно-геологических условий (значительное давление окружающих горных пород, выдавливание почвы, высокая температура горных пород, опасность взрыва метана и другие) требует применения новаторских решений в ходе проведения выработок больших размеров.

Примером таких решений могут служить:

- применение в большом масштабе Новой австрийской туннельной техники;
- применение железобетонных элементов крепления околоствольного двора с податливостью по системе "Повондра";
- усиленная крепь коридорных выработок.

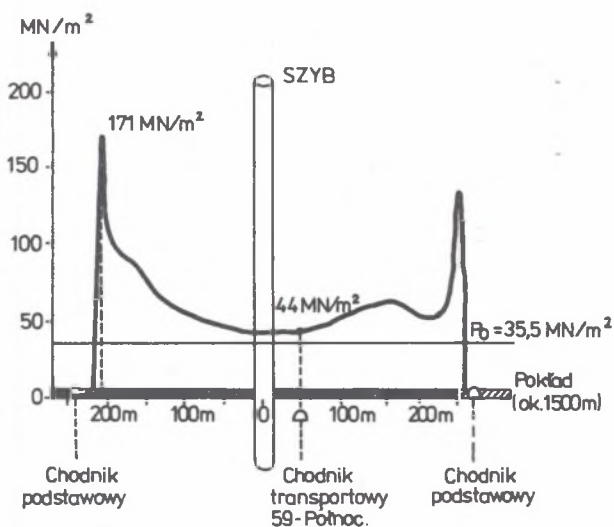
1. WPROWADZENIE

Referat będzie próbą przedstawienia niektórych problemów związanych z projektowaniem a następnie wykonywaniem wyrobisk wielkogabarytowych na dużych głębokościach w najgłębszej czynnej kopalni węgla w świecie - ok. 1500 m [1, 2]. Kopalnia "Preussag" - Ibbenbüren - jest kontynuatką bardzo starego górnictwa. W roku 1973 rozpoczęto budowę praktycznie nowej głębokiej kopalni. W kopalni występują następujące zagrożenia naturalne: zagrożenie wodne, zagrożenie CH_4 , zagrożenie wyrzutami skał i gazów, zagrożenie cieplne i zagrożenie wyrobisk ciśnieniem górotworu.

2. WARUNKI GÓRNICZO-GEOLOGICZNE POZIOMU 6 (1440 m)

Warunki górnictwo-geologiczne na poziomie 6 są trudne i pogarszają się wraz z głębokością. Ciśnienie w rejonie filara szybowego w pokł. 59 [9] waha się w granicach $35-40 \text{ MN/m}^2$, a na obrzeżu filara osiąga 171 MN/m^2 (rys. 1). Zdaniem ekspertów dalszy rozwój eksploatacji w pokładzie 59 może zwiększyć ciśnienie do wartości teoretycznie przewidywanych na głębokości 1900 m [7]. Pakiet warstw skalnych poz. 6, a w szczególności w rejonie nowego podszybia, posiadający w swoim profilu 4 pokłady węgla, został oceniony jako słaby.

W związku z tym wyrobiska udostępniające pokł. 59 były (i są) drażnione w bardzo trudnych warunkach.



Rys. 1. Wykres ciśnień w rejonie filara szybowego w pokładzie 59

Fig. 1. Diagram of the pressures in a shaft pillar region in bed 59

3. DOBÓR OBUDOWY DLA PODSZYBIA NA POZ. 6

Trudności związane z wykonywaniem wyrobisk na poziomie 6 zbiegły się terminowo z okresem dyskusji dotyczącej budowy podszybia na poz. 6. Wiosną roku 1983 zlecono dwóm grupom ekspertów z: Bergbau-Forschung - Essen, Beton und Monierbau-Innsbrück, niezależne opracowanie koncepcji obudowy podszybia na poz. 6. Warunki brzegowe, jakie musiały uwzględnić obydwie grupy ekspertów, sprecyzowano następująco:

1. Długość podszybia zlokalizowanego na głębokości 1440 m będzie wynosiła 115 m, w tym:

- na długości 25 m (w obrębie szybu) powierzchnia przekroju w świetle obudowy winna wynosić ok. 70 m^2 ,
- na długości 80 m powierzchnia przekroju w świetle obudowy winna wynosić ok. 59 m^2 .

2. Ze względów ruchowych zmniejszenie przekroju podszybia nie może przekroczyć 13%. Żywotność podszybia winna wynosić minimum 25 lat.

3. Przy projektowaniu obudowy należy uwzględnić fakt, że w związku z rozwojem eksploatacji w pokł. 59 nastąpi wzrost ciśnienia górotworu.

Opracowania te (bardzo różne) przedstawiają się następująco:

Opracowanie "Bergbau-Forschung" - Essen

Obudowa ma być typową podporową o bardzo wysokiej wytrzymałości uwzględniającą również zabudowę spągu.

Opracowanie "Beton und Monierbau" - Innsbruck

Obudowa ma być kotwowa z zastosowaniem betonu natryskowego.

Kopalnia nie przyjęła żadnego z przedstawionych rozwiązań.

Utworzono nowy Zespół, który zdecydował się na wykonanie podszybia w obudowie wielowarstwowej (kotwy z betonem natryskowym, żelbetowe segmenty upodatnione stalowymi elementami upodatniającymi).

3.1. Drażenie podszybia w obudowie kotwowej z betonem natryskowym.

Urabianie górotworu

Wykonywanie podszybia z racji na duże przekroje dochodzące do ok. 115 m^2 zrealizowano w dwóch warstwach. Po usunięciu urobku na czoło przodku, ociosy i strop (spąg) natryskiwano warstwą "natychmiast" wiążącego środka o nazwie "Heocostone". Warstwa ta o grubości 5-8 cm zabezpieczała górników przed obrywaniem się skał, a spąg i ociosy przed zaciskaniem.

Ustalenie schematu posadowienia kotew i betonu natryskowego

Opierając się na teorii i doświadczeniach Nowej Austriackiej Techniki Tunelowej [4, 8, 11], badaniach Bergbau-Forschung - Essen [7] oraz doświadczeniach kop. "Preussag" [5, 6], opracowano program kotwienia łącznie z nanoszeniem betonu natryskowego. Autorzy tego programu gwarantowali, że w ciągu 24 miesięcy konwergencja nie przekroczy 40 cm. Schemat zastosowanego kotwienia przedstawiono na rys. 2. Wykorzystano kotwy 3 m, 6 m i 8 m o zagęszczeniu 2,4 kotwy/ m^2 . Grubość betonu natryskowego wahała się w granicach 27-30 cm. Taką grubość uzyskiwano wykonując 3 warstwy betonu po ok. 10 cm z dwiema warstwami siatek stalowych przymocowanych do kotew.

pionowe. Stąd takie ułożenie segmentów. Charakterystykę segmentów żelbetowych tworzących pierścien obudowy przedstawiono w tablicy 1.

Tablica 1

| Lp. | Średnica w świetle | Masa segmentów (t) | | |
|-----|--|--------------------|-------|--------|
| | | spąg | strop | ociosy |
| 1 | Duży pierścień 9,50 m | 8,25 | 7,08 | 7,08 |
| 2 | Duży pierścień przejściowy 9,10 m | | | |
| 3 | Mały pierścień przejściowy 8,70 m | | | |
| 4 | Mały pierścień 8,30 m | 6,8 | 6,2 | 6,2 |
| 5 | Szerokość segmentu 1,01 m | | | |
| 6 | Grubość segmentu 0,50 m | | | |
| 7 | Szerokość szczelin między segmentami ("brutto") 0,332 m | | | |
| 8 | Szerokość szczelin pionowych między pierścieniami 0,02-0,03 m | | | |
| 9 | Klasa betonu B 55 | | | |
| 10 | Otwory technologiczne | | | |
| | - 2 do iniekcji \varnothing 50 mm | | | |
| | - do 16 szt. (umożliwienie zamocowania w trakcie montażu poszczególnych segmentów w pierścieniu) | | | |

3.2.2. Stalowe elementy upodatniające

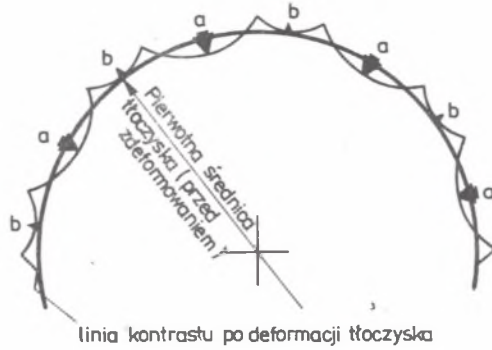
Pomysł wykorzystania obudowy betonowej z elementami upodatniającymi pochodzącymi z 1981 roku dzięki badaniom dr F. Powondry [3, 10] doczekał się realizacji w kop. "Preussag".

Idea pracy stalowych elementów upodatniających dr Powondry:

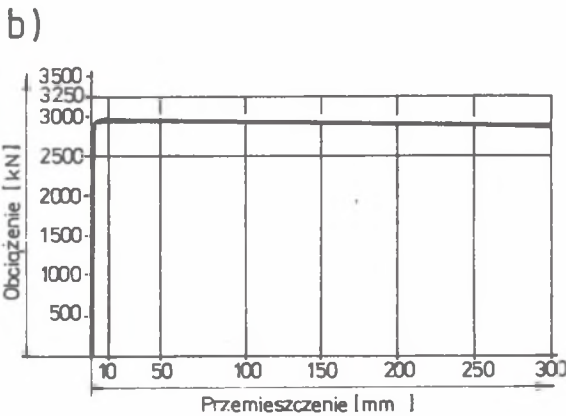
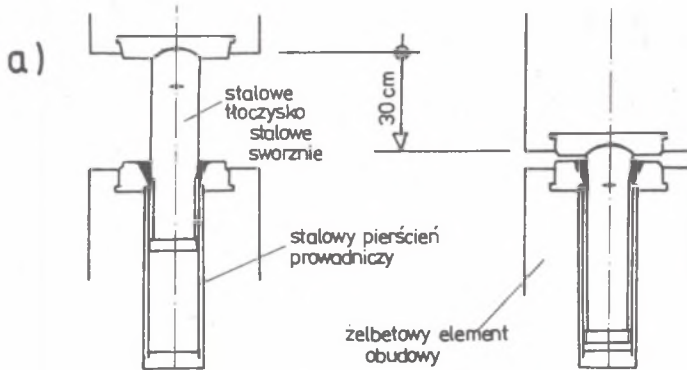
1. Stalowy element upodatniający musi ściśle współpracować z betonowym segmentem kołowej obudowy wyrobiska podziemnego zarówno w zakresie konstrukcji, jak i wymagań eksploatacyjnych pod ziemią.

2. Stalowy element upodatniający musi być:

- natychmiast podporowy,
- podporność jego musi być tak dobrana, aby można było w pełni wykorzystać podporność segmentów obudowy.



Rys. 3. Idea pracy stalowych elementów updatniających systemu "Powondra"
 Fig. 3. Work idea of the flexibilizing steel elements of the "Powondra" system



Rys. 4a,b. Laboratoryjny pomiar maksymalnego obciążenia stalowego elementu updatniającego systemu "Powondra"

Fig. 4a,b. Laboratory measurement of the maximal loading of the flexibilizing "Powondra" system steel element

Ideę pracy stalowych elementów upodatniających system Powondra ("Meypo") przedstawiono na rys. 3.

Stalowy element Powondry składa się z 2 części (rys. 4a):

- stalowe tłoczysko,
- stalowy pierścień prowadniczy z wmontowanymi węł sworzniami.

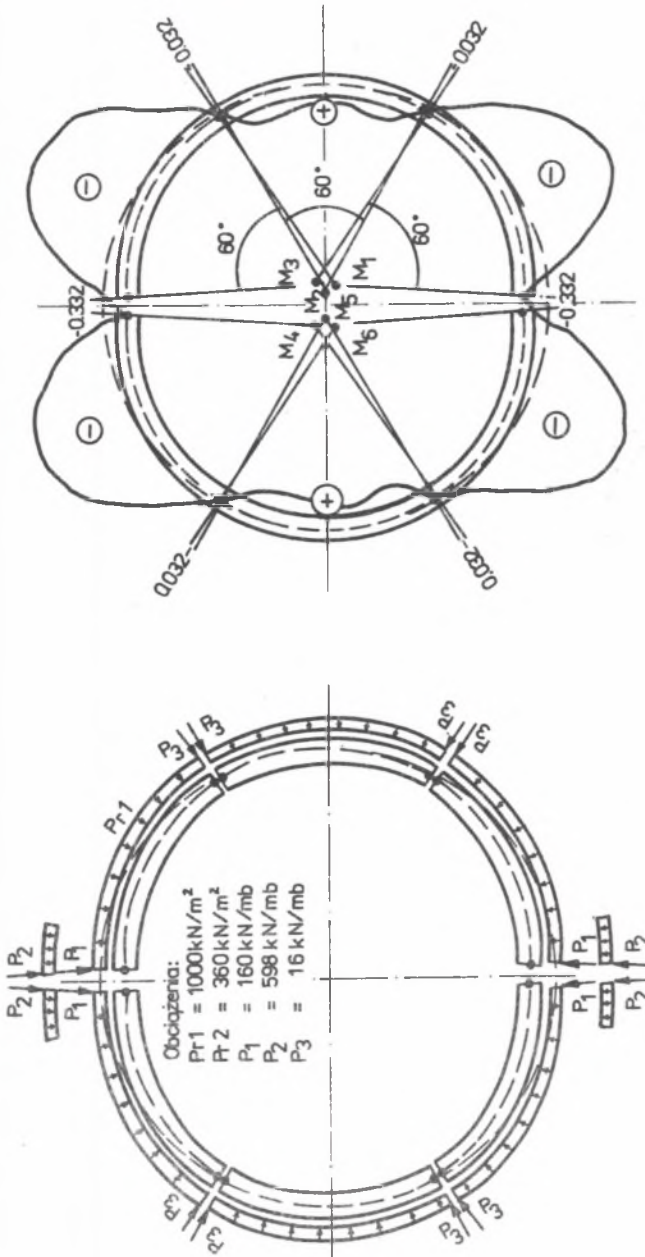
Podporność elementów Powondry uzyskiwana jest dzięki właściwemu dobraniu sworzni ze specjalnej hartowanej stali, które rozgniatają stalowe tłoczysko (rys. 3). Laboratoryjny pomiar maksymalnego obciążenia elementu upodatniającego przedstawiono na rys. 4a. Charakterystykę stalowych elementów upodatniających typu Powondra przedstawiono w tabelicy 2.

Tablica 2

| | | |
|---|---|--|
| 1 | Maksymalna droga zsunięcia (przesunięcia) tłoczyska w pierścień ze sworzniami | 30 cm |
| 2 | Podporność jednego elementu upodatniającego | 2500-3250 kN |
| 3 | Średnica tłoczyska | 140 mm |
| 4 | Ilość stalowych elementów upodatniających w jednym segmencie żelbetowej obudowy | 2(6x2 = 12 w jednym pierścieniu obudowy) |
| 5 | Podporność jednego pierścienia obudowy w przeliczeniu na średnicę wewnętrzną | 1200-1500 kN/m ² |
| 6 | Max dopuszczalne odchylenie elementu upodatniającego od pionu (przy deformacji pierścienia obudowy) | 15° |

Konstrukcja utworzona z połączenia 6 żelbetowych segmentów oraz 12 elementów upodatniających została poddana analizie na maszynie cyfrowej. Przygotowano program, w którym przeanalizowano 4 stany odkształcenia pierścienia w kombinacji z pięcioma stopniami obciążenia. Za najkorzystniejszy przypadek uznano sytuację, gdy szczeliny spągowe i stropowe w pierścieniu obudowy są otwarte, a szczeliny ociosowe zaciśnięte.

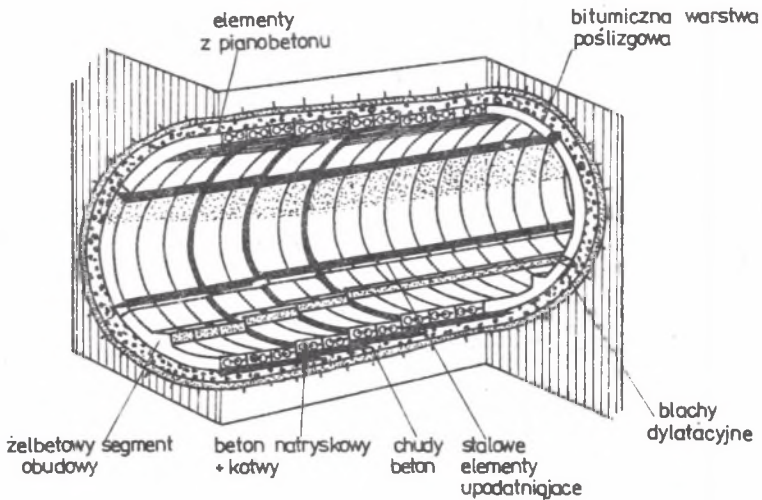
Graficzne przedstawienie takiej sytuacji obrazuje (rys. 5) łącznie z powstałymi momentami.



Rys. 5. Graficzne przedstawienie optymalnego obciążenia 6 segmentów żelbetowych z 12 elementami upodnijnającymi systemu "Powondra"

Fig. 5. Graphic presentation of the optimal loading of six ferroconcrete segments together with 12 "Powondra" system flexibilizing elements

Teoretyczne rozważania poparto badaniami modelowymi, które wykazały, że dla przyjętego schematu obciążeń pierścieniowa obudowa nie ulega zniszczeniu, a stalowe elementy upodatniające reagują zgodnie z przyjętymi założeniami.



Rys. 6. Schemat przestrzenny obudowy wielowarstwowej z upodatnionymi elementami żelbetowymi (system "Powondra")

Fig. 6. Spatial diagram of a multilayer lining with flexibilized ferroconcrete elements ("Powondra" system)

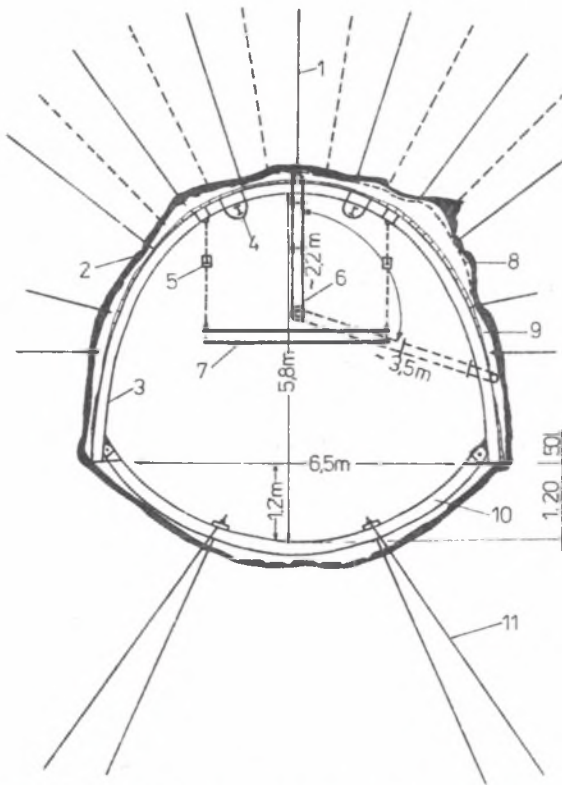
4. DOBÓR WZMOCNIONEJ OBUDOWY WYROBISK KORYTARZOWYCH

Przedstawione w pkt. 2 trudne warunki górniczo-geologiczne spowodowały również konieczność doboru odpowiednich rodzajów obudów wyrobisk korytarzowych. Większość wyrobisk korytarzowych ze względu na:

- konieczność odprowadzenia znacznych ilości ciepła i wolnego metanu,
- dopuszczenie do ruchu równocześnie taśmociągów i jednoszybowych kolejek podwieszanych,
- konieczność zainstalowania wielu rurociągów (izolowane rury instalacji klimatyzacyjnej, ciągi wody przemysłowej - w kopalni nie stosuje się ścieków, przewody odprowadzające metan odsysany z górotworu),
- potrzeba zainstalowania w wielu przypadkach lutniociągów, posiada znaczne wymiary poprzeczne ($24,3 \text{ m}^2$).

4.1. Rodzaje zastosowanej obudowy

Na podstawie doświadczeń uzyskanych przy drażeniu wyrobisk na wyżej zlokalizowanym poziomie 5 oraz w trakcie realizacji budowy 1 fazy podszycia po-



Rys. 7. Wzmocniona obudowa wyrobiska korytarzowego

1 - kotwy wklejane o długości 3 m, 2 - warstwa konsolidacyjna "natychmiast" wiążącego betonu natryskowego, 3 - podatna obudowa łukowa, 4 - podciąg, 5 - szyna jezdna przesuwnego pomostu roboczego, 6 - manipulator, 7 - przesuwny podwieszony pomost roboczy, 8 - siatka druciana, 9,10 - warstwa betonu "chudego", 11 - kotwy posadzone na betonie drobnoziarnistym -długość 5 m

Fig. 7. Reinforced lining of a dog heading

1 - 3 m long inserted bolts, 2 - consolidation layer of "instantly" binding shotcrete, 3 - flexible arching, 4 - horsehead, 5 - carriageable rail of a slidable working platform, 6 - manipulator, 7 - slidable underslung working platform, 8 - wire net, 9,10 - layer of "thin" concrete, 11 - 5 m long bolts founded on fine-grained concrete

ziomu 6 (pkt. 3.1) większość wyrobisk korytarzowych poziomu 6 wykonuje się w obudowie wzmocnionej (rys. 7).

Obudowa ta składa się z:

- kotew w stropie o długości 3 m, posadowionych na żywicach (na całej długości), zagęszczenie 1,5 kotwy/m²,
- kilkucentymetrowej warstwy "natychmiast" wiążącego betonu natryskowego zbrojonego drucianą siatką,
- podatnej obudowy łukowej (zamkniętej),
- warstwy betonu "chudego",
- kotew spągowych (mocujących spągownice obudowy łukowej) o długości 5 m, posadowionych na całej długości na betonie drobnoziarnistym.

4.2. Organizacja drażenia wyrobiska

Podstawowe wyposażenie wyrobiska korytarzowego stanowią:

- podwieszany na szynach kolejek jednoszynowych przesuwany pomost roboczy. Na pomoście posadowiony jest manipulator,
- ładowarka bocznie sypiąca,
- wóz wierząco-kotwiący,
- torkretnica,
- przenośnik zgrzeblowy do odstawy urobku.

W tak wyposażonym wyrobisku drażenie odbywa się w 4 fazach.

Faza I

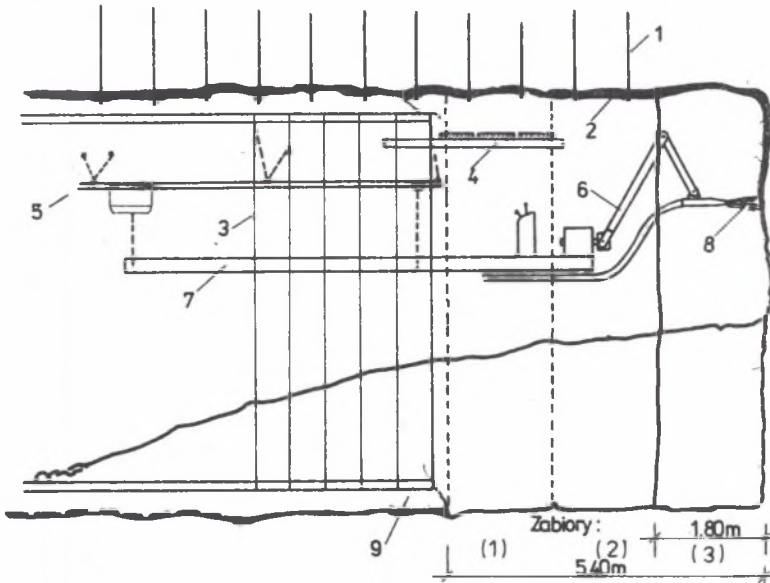
Wyrobisko draży się zaborami o długości 1,8 m. Po wywierceniu otworów i urobieniu 3 zaboru (rys. 8) wykonuje się cienką warstwę "natychmiast" wiążącego betonu natryskowego (strop, ociosy i czoło przodku).

Faza II

Po wybraniu około 75% urobku następuje wymiana ładowarki na wóz wierząco-kotwiący. W dalszej kolejności zabudowa (na podciągach) łuków stropnicowych w zaborze 1 oraz kotwi w zaborze 3 (rys. 9).

Faza III

Wybranie reszty urobku, założenie kotew technologicznych w czole przodku, nałożenie warstwy betonu natryskowego na odsłonięte części czoła przodku. Wznoszenie łuków obudowy podatnej (ociosowe i spągowe) w zaborze 1 (rys.10).



Rys. 8. Faza I drażenia wyrobiska korytarzowego

1 - kotwy wklejane o długości 3 m, 2 - warstwa konsolidacyjna "natychmiast" wiążącego betonu natryskowego, 3 - oś łuków podatnej obudowy, 4 - podciąg, 5 - szyna jezdna przesuwnego pomostu roboczego, 6 - manipulator, 7 - przesuwany podwieszany pomost roboczy, 8 - strumień betonu natryskowego, 9 - warstwa betonu "chudego"

Fig. 8. Phase I of driving a dog heading

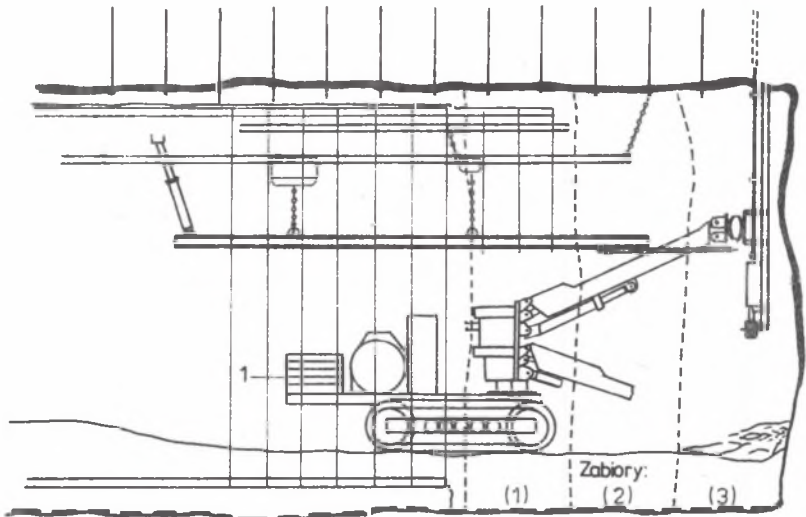
1 - 3 m long inserted bolts, 2 - consolidation layer of "instantly" binding shotcrete, 3 - axis of the arches of a flexible lining, 4 - horsehead, 5 - carriageable rail of a slidable working platform, 6 - manipulator, 7 - slidable underslung working platform, 8 - shotcrete jet, 9 - layer of "thin" concrete

Wypełnianie "chudym" betonem przestrzeni pomiędzy górotworem a łukami spągowymi.

Faza IV

Rozpinanie płótna wodoprzepuszczalnego na obudowie łukowej (ociosy i strop). Wypełnianie "chudym" betonem (za pomocą manipulatora) przestrzeni pomiędzy górotworem a łukami ociosowymi i stropnicowymi (rys. 11).

W zbiorze 2 i 3 tok postępowania jest identyczny.

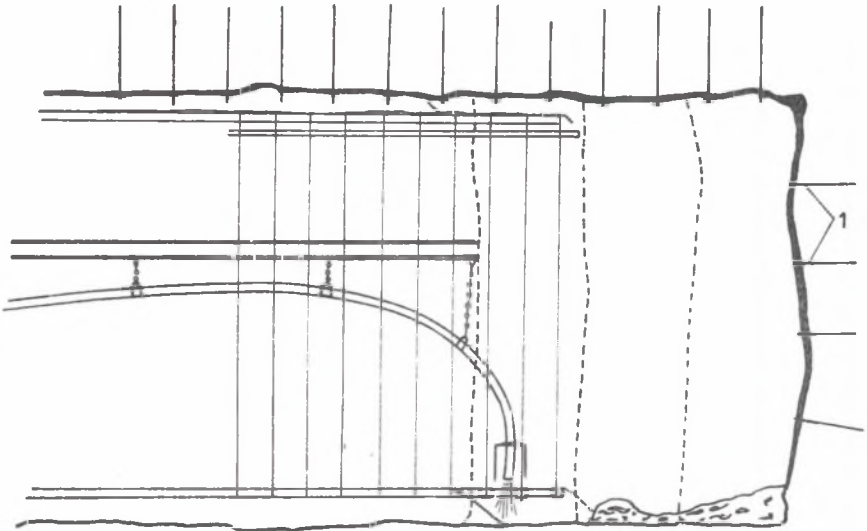


Rys. 9. Faza II drażenia wyrobiska korytarzowego

1 - wóz wiercąco-kotwiący

Fig. 9. Phase II of driving a dog heading

1 - drilling - bolting truck

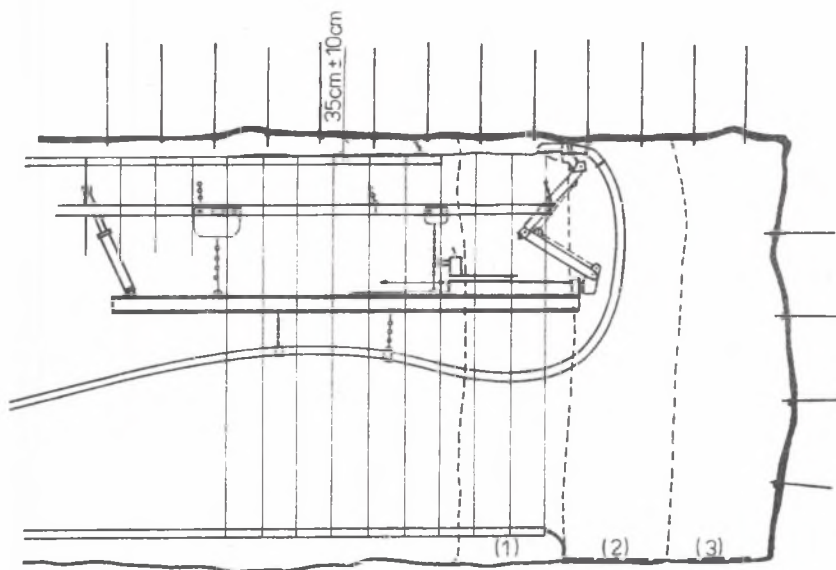


Rys. 10. Faza III drażenia wyrobiska korytarzowego

1 - kotwy technologiczne o długości 1,2 m

Fig. 10. Phase III of driving a dog heading

1 - 1,2 m long technological bolts



Rys. 11. Faza IV drażenia wyrobiska korytarzowego

Fig. 11. Phase IV of driving a dog head

5. PODSUMOWANIE I WNIOSKI KOŃCOWE

Analizując problematykę przedstawioną w niniejszym artykule, można stwierdzić między innymi, że:

1. Bardzo szybko, tj. w ciągu ok. 3 lat podjęto się kompleksowego rozwiązania zupełnie nowego problemu w zakresie badawczym, projektowym, organizacyjnym i wykonawczym.

2. Decyzja o budowie podszybia na głębokości 1440 m o znacznych wymiarach: 115 m długości i przekroju dochodzącym do 115 m^2 (rys. 6) w bardzo trudnych warunkach górniczo-geologicznych była bardzo odważna i pierwsza tego typu w górnictwie węglowym.

3. Z powodzeniem zastosowano w górnictwie węglowym na tak dużą skalę Nową Austriacką Technikę Tunelową (NOT). Udowodniono, że można zakładać obudowę kotwową z betonem natryskowym w wyrobiskach o bardzo dużych wymiarach, posadowionych w słabym górotworze na dużych głębokościach. Konwergencja nie przekroczyła 3%.

4. Podjęto ryzykowną, ale uzasadnioną próbę wykorzystania po raz pierwszy w światowym górnictwie i budownictwie podziemnym stalowych elementów updatniających (Powondra System), specjalnie zaprojektowanych, wykonanych i prze-

testowanych dla budowanego podszybia. Elementy te umożliwiają uzyskanie przez kołową - segmentową żelbetową obudowę podporności w granicach 1200-1500 kN/m².

5. Zaprojektowana, przetestowana i wdrożona "wzmocniona obudowa" wyrobisk korytarzowych o znacznych przekrojach (23,4 m²) zdała w pełni egzamin.

LITERATURA

- [1] *Barchański B.*: Eksploatacja węgla na dużej głębokości w bardzo trudnych warunkach w kop. "Preussag" - Ibbenbüren RFN. Przegląd Górniczy 1984, nr 7-8.
- [2] *Barchański B.*: Sprawozdania z pobytów na kopalni "Preussag" - Ibbenbüren 1984-1991. IPIBK AGH.
- [3] *Brunar G., Powondra F.*: Nachgiebiger Tübbingausbau mit Meypo - Stauchelementen - Felsbau 1985, nr 4.
- [4] *Edeling H.*: Zur Geschichte der neueren Tunnelbau - theorie Felsbau - 1984, nr 4.
- [5] *Haecker D.*: Auffahrung eines Füllortes in 1440 m Teufe mit mehrschaligem Ausbaü - Unser Betrieb - 1986, nr 42.
- [6] *Haecker D.*: Planung und Entwicklung eines nachgiebigen Paneelasbaus für das neue Füllort in 1440 m Teufe - Unser Betrieb 1987, nr 45.
- [7] *Jacobi O. i in.*: Praxis der Gebirgsbeherrschung - Essen 1981.
- [8] *Krimmer H., Sauer G.*: Die Neue Österreichische Tunnelbauweise im U-Bahnbau - Rückblick und Ausblick - Felsbau 1985, nr 3.
- [9] *Kuschel K.H.*: Erfahrungen bei der Anthrazitgewinnung in Teufen bis zu 1500 m auf dem Steinkohlenbergwerk Ibbenbüren und zukünftige Entwicklungen - Ibbenbüren 1987.
- [10] *Powondra F.*: Patenschriften ubernachgiebige Verbindungen.
- [11] *Rabcewicz L.*: Die Neue Ostereichische Tunnelbauweise. 1965.
- [12] *Chudek M., Głuch P., Szczepaniak Z.*: Projektowanie i wykonywanie wyrobisk komorowych, Skrypt Pol. Śląskiej Nr 1587, Gliwice 1991 r.

Recenzent: Prof. dr hab. inż. Mirosław CHUDEK

Wpłynęło do Redakcji w kwietniu 1992 r.