

PRACE NAUKOWE  
**GŁÓWNEGO  
INSTYTUTU  
GÓRNICICTWA**



**№**

**848**

**Stanisław PRUSEK**

**Rola pasów ochronnych  
w utrzymaniu chodników przyścianowych**

**KATOWICE 2002**

**GLÓWNY INSTYTUT GÓRNICTWA**

**Prace Naukowe  
Głównego Instytutu Górnictwa**

**Nr 848**

**Stanisław PRUSEK**

**Rola pasów ochronnych  
w utrzymaniu chodników przyścianowych**  
**ROLE OF PROTECTION BELTS IN MAINTAINING  
LONGWALL ENTRIES**

**KATOWICE 2002**

**Rada Programowa ds. Wydawnictw:** *prof. zw. dr hab. inż. Henryk Filcek (przewodniczący), prof. dr hab. inż. Jerzy Sadowski (zastępca przewodniczącego), prof. zw. dr hab. inż. Tadeusz Chmielniak, prof. dr hab. inż. Bernard Drzęźła, prof. dr hab. inż. Józef Dubiński, prof. zw. dr hab. Sławomir Gibowicz, prof. dr hab. Jerzy Gustkiewicz, prof. dr hab. med. Danuta Koradecka, prof. dr hab. inż. Joanna Krajewska-Pinińska, prof. dr hab. inż. Korneliusz Miksch, prof. zw. dr hab. inż. Janusz Roszkowski, prof. dr hab. inż. Janusz W. Wandrasz, prof. dr hab. inż. Piotr Wolański*

**Komitety Kwalifikacyjno-Opiniotwórcze:** *prof. dr hab. inż. Antoni Kidybiński (przewodniczący), doc. dr hab. inż. Krystyna Czaplicka, prof. dr hab. inż. Jan Hankus, prof. dr hab. inż. Władysław Konopko, prof. dr hab. inż. Jerzy Kwiatek, doc. dr hab. Kazimierz Lebecki, prof. dr hab. inż. Adam Lipowczan, prof. dr hab. inż. Kazimierz Rulka, prof. dr hab. Jerzy Sablik, doc. dr hab. inż. Jan Wachowicz*

Przygotowanie do druku i druk: Zespół Wydawnictw i Usług Poligraficznych  
Głównego Instytutu Górniczego  
40-166 Katowice, Pl. Gwarków 1

Recenzent *prof. dr hab. inż. Władysław Konopko*

Redakcja wydawnicza *mgr inż. Ewa Gliwa*  
Redakcja techniczna i korekta *Barbara Jarosz*

ISSN 1230-2643

Printed in Poland

WSZELKIE PRAWA ZASTRZEŻONE

**Sprzedaż wydawnictw Głównego Instytutu Górniczego  
prowadzi Zespół Wydawnictw i Usług Poligraficznych, tel. 259-24-03, 259-24-04**

---

Katowice, GIG 2002. Wyd. 1. Nakład 100 egz. Ark. wyd. 2,5. Format B5.  
Wpłynęło do redakcji: 20.08.2001. Podpisano do druku: 12.02.2002. Druk ukończono: 25.02.2002.  
Nr 848. Cena 20,00 zł

---

Druk okładki i oprawę wykonał Zakład Poligraficzny „Wędogryf” s.c., Katowice

# SPIS TREŚCI

|                                                                                                         |           |
|---------------------------------------------------------------------------------------------------------|-----------|
| <b>1. WPROWADZENIE .....</b>                                                                            | <b>7</b>  |
| <b>2. CHARAKTERYSTYKA NAJCZĘŚCIEJ STOSOWANYCH PASÓW<br/>OCHRONNYCH W CHODNIKACH PRZYŚCIANOWYCH.....</b> | <b>7</b>  |
| 2.1. PASY DREWNIANE .....                                                                               | 9         |
| 2.2. PASY PODSADZKOWE .....                                                                             | 16        |
| <b>3. METODY I ZAKRES POMIARÓW DOŁOWYCH.....</b>                                                        | <b>29</b> |
| <b>4. ZALEŻNOŚCI EMPIRYCZNE DO OBLICZANIA PODPORNOŚCI<br/>WYBRANYCH TYPÓW PASÓW OCHRONNYCH.....</b>     | <b>34</b> |
| <b>5. OKREŚLENIE WPŁYWU PASÓW OCHRONNYCH NA UTRZYMANIE<br/>CHODNIKÓW PRZYŚCIANOWYCH .....</b>           | <b>42</b> |
| <b>6. PODSUMOWANIE.....</b>                                                                             | <b>52</b> |
| <b>LITERATURA.....</b>                                                                                  | <b>53</b> |

## Abstract

The subject of this work is to determine the role of protection belts in maintaining longwall entries at one-sided surrounding by the goaf, behind the caving longwall front. At the beginning of the work, the protection belts, most frequently used in the mining industry, have been characterised. These are the belts made of wooden cribs and those made of various mineral substances. The general technology of preparing the belts has been presented followed by the information on the materials of which they are most often made. The examples have been presented of using the protection belts in the mines, both in this country and abroad.

The further part of the work describes a method and scope of underground measurements performed in ten longwall entries, which were maintained behind the mining front with one-sided surrounding by the goaf. The measuring points were installed in the headings to measure their convergence. Also, the load-bearing capacity of the protection belts was measured by means of dynamometers specially prepared for this purpose. The measurement results obtained enabled to elaborate the load-bearing capacity of the investigated protection belts, which, in turn, made possible to determine empirical relationships enabling to calculate their load-bearing capacity. These relationships are presented in the work together with practical examples of their use.

Using the calculations of predicted convergence of the entries, their load and load-bearing capacity of supports used in them, the relationship was found that makes possible to evaluate the effect of a given protection belt type on the value of convergence of the longwall entries in given mining conditions. The practical utilisation of this relationship was presented on a computing example.

The relationships given here enable to evaluate the conditions of maintaining the entries behind the mining front, including the load existing in given loading conditions of these entries, and the load-bearing capacity of their supports together with that of the protection belts.

*Keywords: mine working, longwall entry, protection of workings, protection belt*

## Streszczenie

Tematem pracy jest określenie roli pasów ochronnych w utrzymaniu chodników przyścianowych w jednostronnym otoczeniu zrobami za frontem ścian zawałowych. Na wstępie pracy scharakteryzowano pasy ochronne najczęściej stosowane w górnictwie węglowym, tj. pasy z kasztów drewnianych oraz pasy z różnego typu substancji mineralnych. Podano ogólną technologię wykonywania pasów oraz informacje o materiałach z jakich są one najczęściej wykonywane. Przedstawiono przykłady zastosowania pasów ochronnych w kopalniach w kraju i za granicą.

W dalszej części pracy opisano metodę oraz zakres pomiarów dołowych, prowadzonych w dziesięciu chodnikach przyścianowych, które utrzymywano za frontem eksploatacji w jednostronnym otoczeniu zrobami. W chodnikach tych zakładano punkty pomiarowe do mierzenia ich zaciskania. Za pomocą specjalnie wykonanych w tym celu dynamometrów, mierzono również podporność pasów ochronnych. Uzyskane wyniki pomiarów dołowych pozwoliły na opracowanie charakterystyk podpornościowych badanych pasów ochronnych, co umożliwiło z kolei wyznaczenie zależności empirycznych, pozwalających na obliczanie ich podporności. Zależności te zostały przedstawione w pracy wraz z praktycznymi przykładami ich wykorzystania.

Wykorzystując obliczenia prognozowanego zaciskania chodników, ich obciążenia oraz podporności stosowanej w nich obudowy wyznaczono zależność, do określenia oceny wpływu danego typu pasa ochronnego na wartość zaciskania chodników przyścianowych w danych warunkach górniczo-geologicznych. Praktyczne wykorzystanie tej zależności przedstawiono na przykładzie obliczeniowym.

Podane w niniejszej pracy zależności umożliwią ocenę warunków utrzymania chodników przyścianowych za frontem eksploatacji, z uwzględnieniem występującego w danych warunkach obciążenia tych wyrobisk oraz wartości podporności ich obudowy, w tym również podporności pasów ochronnych.

*Słowa kluczowe: wyrobisko kopalniane; chodnik przyścianowy; ochrona wyrobisk; pas ochronny*

# 1. WPROWADZENIE

W polskim górnictwie węgla kamiennego powszechnie stosowany jest ścianowy system eksploatacji. Prawidłowe funkcjonowanie tego systemu zależy w znacznym stopniu od możliwości utrzymania zdolności ruchowej chodników przyścianowych. Przez utrzymanie zdolności ruchowej chodnika rozumie się zachowanie takiego jego przekroju użytecznego, który pozwalałby na spełnianie podstawowych funkcji w procesie wydobywczym, takich jak: odstawa urobku, wentylacja, transport materiałów.

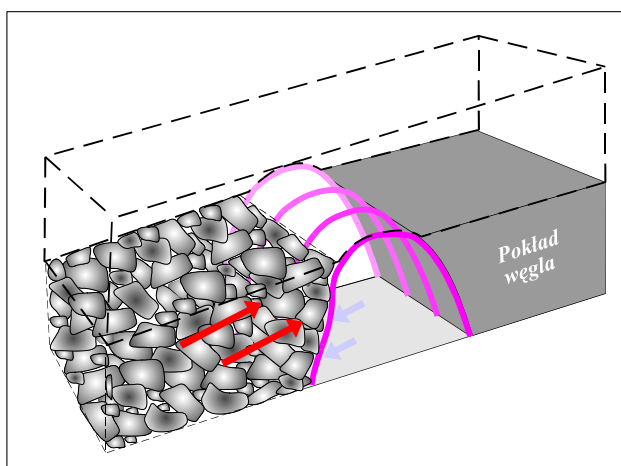
Obecnie eksploatacja pokładów węgla odbywa się na coraz większych głębokościach, w obszarach zaburzeń tektonicznych, oddziaływania zaszłości eksploatacyjnych (resztki czy krawędzie), jak również występowania wstrząsów górotworu. Chodniki przyścianowe poddawane są w takich warunkach znacznym obciążeniom górotworu, których wartości są często większe, niż wynikające z samej tylko głębokości eksploatacji. Badania dołowe [4, 5, 26, 29, 30, 45, 46, 49, 50, 55] wykazały, że przechodzący wzdłuż chodnika front ściany wywołuje wzmożone jego zaciskanie już przed ścianą, a bardzo silne zaciskanie za ścianą. Powoduje to często poważne trudności w utrzymaniu chodnika w stanie zdatnym do użytku, zgodnie z jego przeznaczeniem. Z tego powodu w chodnikach przyścianowych stosowane są różnego typu wzmocnienia obudowy, między innymi w postaci, wykonywanych wzdłuż zrobów za frontem eksploatacji, pasów ochronnych.

W niniejszej pracy, na podstawie analizy literatury, scharakteryzowano najczęściej stosowane w chodnikach przyścianowych, pasy ochronne. W dalszej kolejności przedstawiono metodę i zakres pomiarów dołowych, prowadzonych w dziesięciu chodnikach przyścianowych. Wyniki tych pomiarów stanowiły podstawę do wyznaczenia charakterystyk podpornościowych badanych pasów ochronnych. Ponadto, w pracy zawarto zależności empiryczne, pozwalające na obliczenie podporności pasów ochronnych i jej wpływu na zaciskanie wyrobiska chodnikowego, utrzymywanego za frontem eksploatacji w jednostronnym otoczeniu zrobami zawałowymi. Zależności te umożliwiają więc ocenę skuteczności stosowania środków ochrony chodników przyścianowych w postaci pasów ochronnych oraz pozwalają na dobieranie ich optymalnych parametrów.

## 2. CHARAKTERYSTYKA NAJCZĘŚCIEJ STOSOWANYCH PASÓW OCHRONNYCH W CHODNIKACH PRZYŚCIANOWYCH

Chodniki przyścianowe utrzymywane są najczęściej za frontem eksploatacji bezpośrednio przy zrobach lub za pomocą pasów ochronnych, wykonywanych z kasztów (stosów) drewnianych bądź z różnego typu tworzyw mineralnych.

Najbardziej niekorzystna sytuacja występuje wówczas, gdy nie jest stosowane żadne wzmocnienie obudowy chodnika na krawędzi zrobów (rys. 2.1).

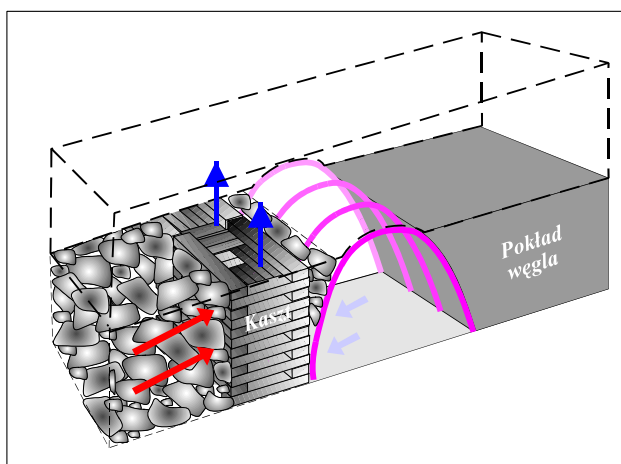


**Rys. 2.1.** Chodnik przyścianowy bez pasa ochronnego

**Fig. 2.1.** Longwall entry without protection belt

W takim przypadku obudowa chodnikowa w największym stopniu narażona jest na deformacje, spowodowane osiadaniem wspornika skał stropowych na zrobach zawałowych o znacznej ściśliwości. Ponadto, zwiększa się zagrożenie powodowane przez wypływające ze zrobów szkodliwe gazy, na przykład metan czy tlenek węgla, a także w rezultacie przepływu powietrza przez zrobry zwiększa się zagrożenie pożarami endogenicznymi.

Kiedy w chodniku przyścianowym na krawędzi zrobów wykonuje się pas ochronny z kasztów drewnianych (rys. 2.2) uzyskuje się dodatkową podporę dla belki skał stropowych, ograniczając jej osiadanie na zrobach zawałowych.



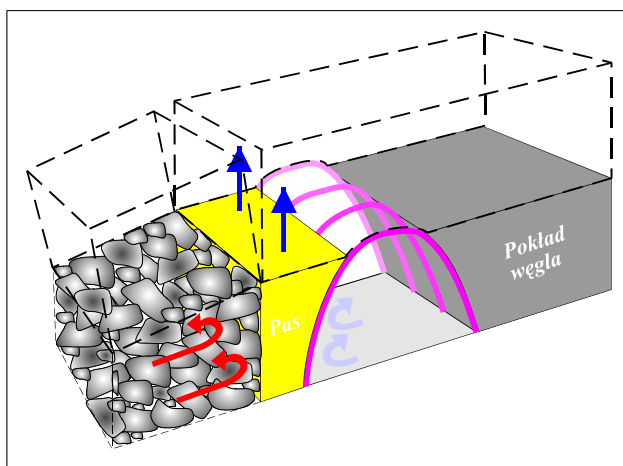
**Rys. 2.2.** Chodnik przyścianowy chroniony pasem z kasztów drewnianych

**Fig. 2.2.** Longwall entry protected by wooden crib belt

W takim przypadku można liczyć na zmniejszenie zaciskania chodnika oraz deformacji obudowy, przy czym przeważnie, z uwagi na znaczną podatność kasztów drewnianych, nie spełniają one w pełni swych zadań, szczególnie w warunkach znacznego ciśnienia górotworu.

Stosując w chodnikach pasy z kasztów drewnianych nie ogranicza się przepływu powietrza przez zrob i wypływu z nich szkodliwych gazów, lecz zmierza się głównie do podnoszenia sumarycznej podporności obudowy chodnikowej.

Wykonując za frontem ściany, przy zrobach, pas ochronny z tworzywa mineralnego (rys. 2.3) o wysokich parametrach wytrzymałościowych uzyskuje się, podobnie jak w przypadku pasów drewnianych, dodatkową podporę skał stropowych. Dodatkowe podparcie stropu w postaci pasa tego typu, który nie jest już tak podatny, jak kaszt drewniany, powoduje skuteczniejsze ograniczenie zaciskania oraz odkształceń obudowy.



**Rys. 2.3.** Chodnik przyścianowy chroniony pasem z tworzywa mineralnego

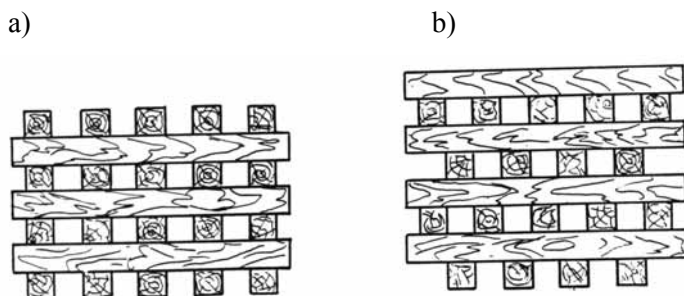
**Fig. 2.3.** Longwall entry protected by mineral substance belt

Ponadto, pasy ochronne wykonywane z tworzyw mineralnych, stanowią zwykle skuteczną izolację zrobów.

## 2.1. Pasy drewniane

Pasy drewniane wykonywane są z kasztów w postaci stosów z belek drewnianych bądź zużytych podkładów kolejowych. Konstrukcje tych pasów mogą być różne w zależności od wymagań podpornościowych. Wyróżnić można kaszty: puste, pełne (całodrzewne) oraz wypełniane skałą płonną. W celu właściwego doboru określonego typu kasztu, dla danych warunków górniczo-geologicznych, potrzebna jest znajomość jego charakterystyki pracy, tzn. zależności podporności od odkształcenia. W celu wyznaczenia takich charakterystyk przeprowadzono wiele badań modelowych, laboratoryjnych oraz dołowych.

Badania modelowe kasztów drewnianych prowadził M. Chudek [17]. Były to kaszty z drewna sosnowego budowane w dwóch układach elementów, tzw. *układzie krzyżowym* oraz *naprzemianległym* (rys.2.4).



**Rys. 2.4.** Kaszt drewniany: a – krzyżowy układ elementów, b – naprzemianległy układ elementów [17]

**Fig. 2.4.** Wooden crib: a – cross-shaped element pattern, b – alternate element pattern

Kaszty miały ponadto różną wysokość oraz różne współczynniki zagęszczenia elementów, zwane przez Autora, współczynnikami wypełnienia  $k$ . Współczynnik  $k$  obrazował liczbę elementów w kaszcie; będąc stosunkiem objętości drewna użytego do budowy kasztu do całkowitej jego objętości. Dla każdego typu kasztów określone zostały charakterystyki podpornościowe, przedstawiające zależność jego podporności od wartości zaciskania. Stwierdzono odmienne procesy deformacji poszczególnych elementów w kasztach o układzie krzyżowym oraz naprzemianległym. W kasztach o układzie krzyżowym wzrost obciążeń powodował wzrost naprężeń ściskających w poszczególnych elementach, natomiast elementy kasztów o układzie naprzemianległym pracowały nie tylko na ściskanie, ale również na zginanie. Przy wzroście współczynnika  $k$  widoczny był wzrost podporności, natomiast większą podatność kasztów obserwowano przy większej ich wysokości. Biorąc pod uwagę odmienny charakter pracy kasztów w analizowanych układach elementów stwierdzono, że kaszty w układzie krzyżowym wymagają dokładniejszego wykonania niż kaszty w układzie naprzemianległym. W kasztach o układzie krzyżowym obserwowano bowiem wypadanie skrajnych elementów, co występowało przy większej ich wysokości. Z tego powodu w przypadku większych wysokości kasztu lub możliwości występowania obciążeń dynamicznych zaleca się stosowanie kasztów o układzie naprzemianległym.

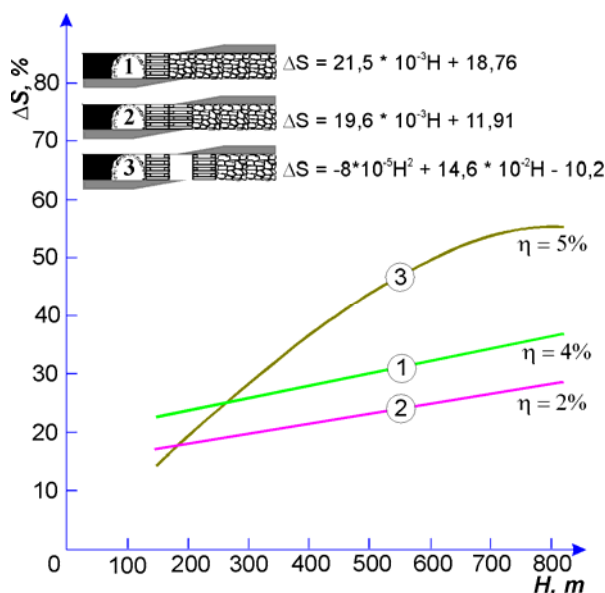
Na podstawie wyników przeprowadzonych badań stwierdzono, że na przebieg charakterystyk podpornościowych kasztów drewnianych wpływa wiele czynników, przy czym decydujące są [17]:

- wytrzymałość drewna,
- wysokość początkowa kasztu,
- sposób ułożenia elementów kasztu,
- zagęszczenie elementów kasztu,
- gabaryty elementów kasztu.

W celu określenia wpływu kasztów drewnianych na rozkład naprężeń wokół wyrobiska chodnikowego przeprowadzone zostały, również przez M. Chudką, badania modelowe [20, 21]. Wykonano je dla warunków odpowiadających warunkom południowo-wschodniej części obszaru ROW, w zakresie głębokości 200–800 m. Rozpoczynając od głębokości 200 m śledzono deformacje otoczenia skalnego wyrobiska oraz obudowy z dodatkowym wzmocnieniem. Przebadano dziewięć sposobów ochrony chodników za pomocą kasztów drewnianych. W przypadku najczęściej występującym obecnie w praktyce górnictwej, tj. przechodzenia chodnika przyścianowego w jednostronne otoczenie zrobami stwierdzono, na podstawie wykonanych badań modelowych, że kaszt drewniany o szerokości równej szerokości chodnika stanowi skuteczną ochronę do głębokości 500 m [20, 21]. Na głębokościach większych ten sposób ochrony nie zapewnia już funkcjonalności wyrobiska.

Wyniki badań modelowych [20, 21] oraz wyniki pomiarów dołowych [16, 19] pozwoliły na określenie prognozowanej straty przekroju poprzecznego chodników przyścianowych [18].

Przykład prognozy strat przedstawiono dla chodnika utrzymywanego w jednostronnym otoczeniu zrobami na rysunku 2.5. Widać na nim, że wielkość straty przekroju poprzecznego  $\Delta S$  zależy od sposobu ochrony chodnika oraz od głębokości  $H$ . Wielkość  $\eta$  informuje o wielkości możliwego błędu.



**Rys. 2.5.** Prognoza strat przekrojów poprzecznych chodników przyścianowych utrzymywanego w jednostronnym otoczeniu zrobami [18]

**Fig. 2.5.** Prediction of the loss of cross-sections of longwall entries maintained at one-sided surrounding with goaf [18]

Badania dołowe, zmierzające między innymi do określenia podporności oraz deformacji kasztów drewnianych, prowadził A. Biliński [5]. Badał on kaszty

drewniane wypełnione skalą płoną. Zwrócił uwagę na fakt, że pomimo starań nigdy nie udaje się całkowicie wypełnić kasztu drewnianego skalą, co powoduje, że kaszt tego typu nie podpira natychmiast stropu, a zaczyna „pracować” dopiero kiedy nastąpi jego zaciśnięcie o wielkość pozostawionej pustki. Na podstawie pomiarów odkształceń kasztów oraz zaciskania chodników A. Biliński podał zależności pozwalające na określenie: średniego odkształcenia pionowego pasa oraz odkształceń bocznych. Zestawienie wyników pomiarów podporności pasa z wartościami jego odkształceń właściwych umożliwiło A. Bilińskiemu określenie charakterystyki podpornościowej pasów, będącej zależnością między odkształceniem właściwym  $\epsilon$  kasztu, a jego podpornością  $p$

$$p = 0,17 \cdot l \cdot \epsilon^{1,1}, \text{ kG/cm}^2 \quad (2.1)$$

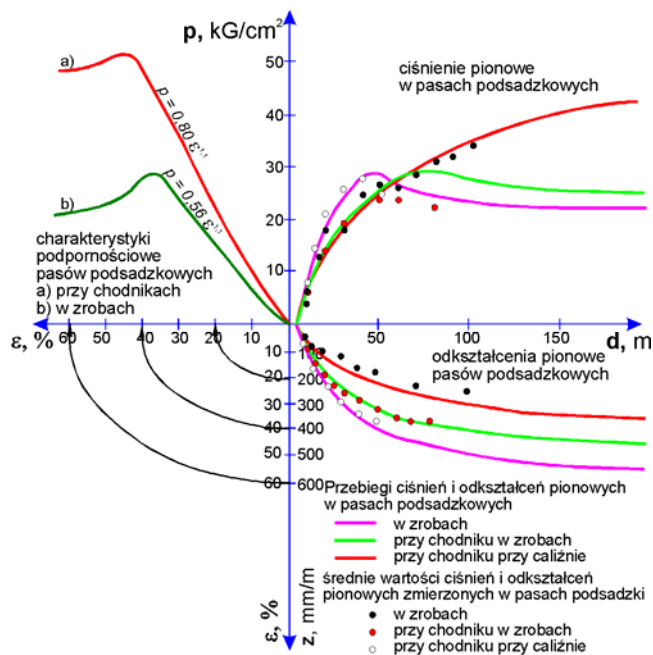
gdzie:

$l$  – szerokość kasztu, m;

$\epsilon$  – odkształcenie właściwe, %, przy czym  $\epsilon \leq 40$ .

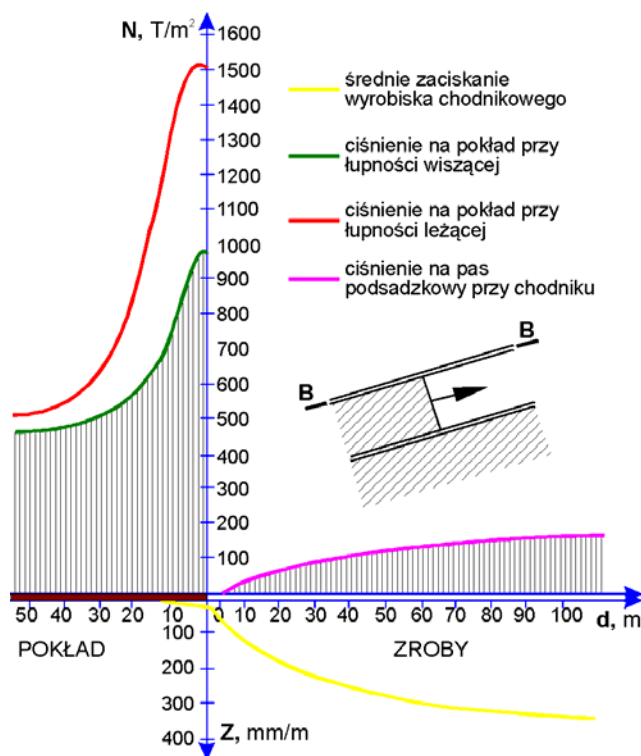
Warunek  $\epsilon \leq 40$  określono doświadczalnie, a oznacza on, że powyżej 40% odkształcenia właściwego w kierunku pionowym, kaszt ulega rozgnieceniu. Zniszczeniu ulegają ściany boczne kasztu, a następnie jest rozgniataany jego rdzeń.

Wartość ciśnienia pionowego w pasach oraz charakterystyki podpornościowe tych pasów, według A. Bilińskiego, przedstawia rysunek 2.6, rysunek 2.7 natomiast kształtowanie się ciśnienia pionowego oraz zaciskanie chodnika w przypadku przechodzenia z obustronnego otoczenia calizną w jednostronne otoczenie zrobami.



**Rys. 2.6.** Charakterystyka podpornościowa kasztu drewnianego wypełnionego skalą płoną [5]

**Fig. 2.6.** Load-bearing capacity characteristics of a wooden crib filled with waste rock [5]

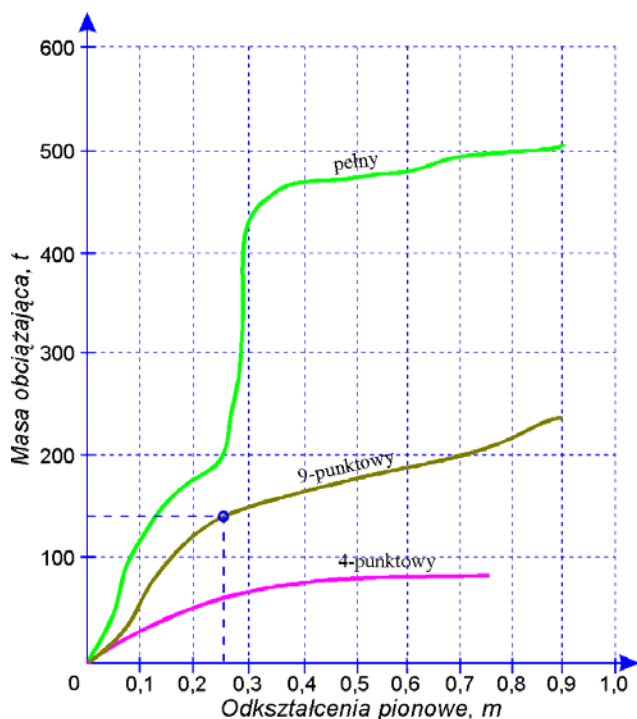


**Rys. 2.7.** Prawdopodobny przebieg ruchów górotworu i ciśnienia pionowego w chodniku przyścianowym ściany zawałowej chronionym kasztem drewnianym – przekrój B-Bo [5]

**Fig. 2.7.** Probable course of rock mass movements and of vertical pressure in an entry of the caving longwall protected by a wooden crib – section B-Bo

Korzystając z wykresu przedstawionego na rysunku 2.6 określić można, przy założonym odkształceniu pionowym, podporność kasztu. Wykres na rysunku 2.7 umożliwia przybliżone oszacowanie zaciskania chodnika, chronionego kasztem drewnianym, wypełnionym skałą płonną.

Charakterystykę podpornościową trzech typów kasztów wykonanych z drewna sosnowego określił A.P. Schissler, co zostało przedstawione w publikacji J. Smółki [54]. Kaszty te zbudowane były z belek sosnowych o wymiarach  $13 \times 20 \times 122$  cm i wysokości od 2,0 m do 2,5 m. Konstrukcyjnie różniły się liczbą elementów w kaszcie, tzn. badano kaszt tzw. 4-punktowy, 9-punktowy oraz pełny. Charakterystykę kasztów drewnianych według A.P. Schisslera przedstawiono na rysunku 2.8.



**Rys. 2.8.** Charakterystyki podpornościowe kasztów drewnianych, według A.P. Schisslera [54]

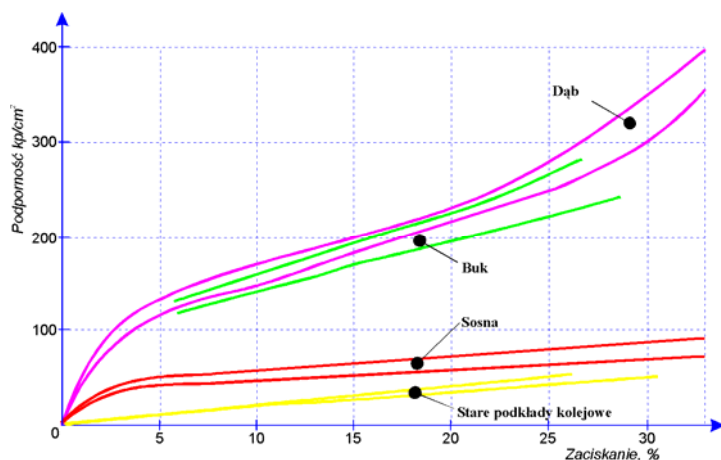
**Fig. 2.8.** Load-bearing characteristics of wooden cribs, following A.P. Schissler [54]

Zauważyć można, że wzrost liczby elementów w kaszcie powoduje wzrost jego nośności. Największą nośność uzyskał kaszt pełny czyli całodrzewny. Wyniosła ona przy odkształceniu pionowym 0,7 m, około 5 MN.

Badania laboratoryjne, mierzące do określenia charakterystyk podpornościowych kasztów drewnianych, prowadzili E. Brinkmann oraz F. Neveling [14]. Badaniom poddano kaszty puste, pełne oraz wypełnione skalą płonną, wykonane z drewna sosnowego, bukowego, dębowego bądź ze zużytych podkładów kolejowych. Elementy kasztów były zróżnicowane, tzn. stosowano belki okrągłe bądź jedno lub dwustronnie opiłowane. E. Brinkmann oraz F. Neveling stwierdzili, że o nośności kasztu decyduje przede wszystkim: rodzaj drewna, wielkości powierzchni przylegania poszczególnych elementów kasztu oraz liczba elementów w kaszcie. Wpływ rodzaju drewna z jakiego wykonany jest pusty oraz pełny kaszt drewniany na jego charakterystykę pracy przedstawia rysunek 2.9.

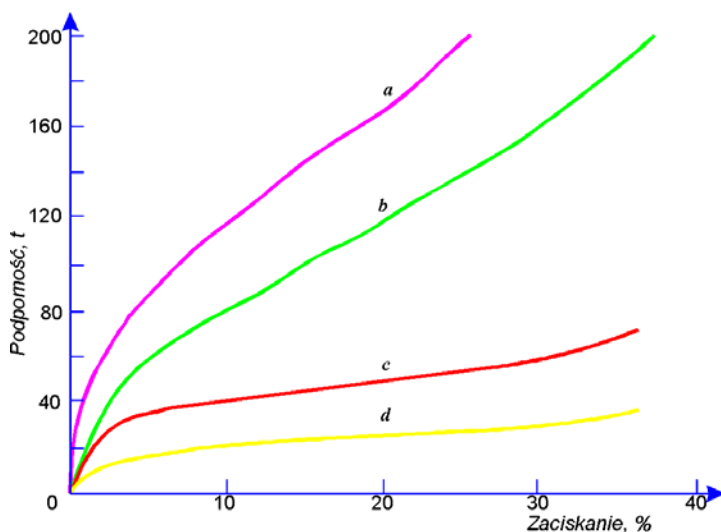
O wielkości powierzchni styku elementów w kaszcie drewnianym decyduje kształt tych elementów. Okrągłe belki drewniane, na przykład mają mniejszą powierzchnię styku od belek dwustronnie opiłowanych. Inną możliwością zwiększenia powierzchni styków w kaszcie jest zwiększenie liczby elementów, na przykład przez układanie kasztów pełnych.

Wpływ wielkości powierzchni styku na nośność kasztów, wykonanych z obustronnie opiłowanego drewna bukowego oraz iglastego, przedstawia rysunek 2.10.



**Rys. 2.9.** Charakterystyki podpornościowe kasztów wykonanych z drewna: dębowego, bukowego, sosnowego i zużytych podkładów kolejowych [14]

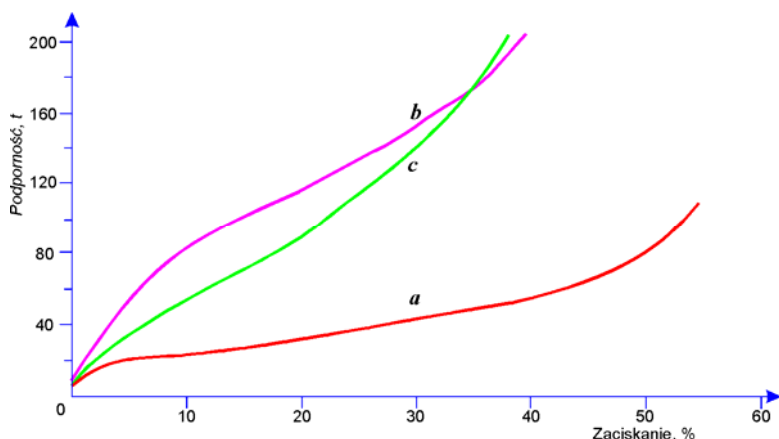
**Fig. 2.9.** Load-bearing characteristics of cribs made of: oak-, beech-, pinewood and of used railway sleepers [14]



**Rys. 2.10.** Przebieg charakterystyki kasztów drewnianych o różnych wielkościach powierzchni styku wykonanych z drewna bukowego oraz iglastego [14]: a – drewno bukowe, pow. styku  $784 \text{ cm}^2$ , b – drewno bukowe, pow. styku  $529 \text{ cm}^2$ , c – drewno iglaste, pow. styku  $729 \text{ cm}^2$ , d – drewno iglaste, pow. styku  $484 \text{ cm}^2$

**Fig.2.10.** Course of the characteristics of wooden cribs with various contact areas, made of beechwood and softwood [14]: a – beechwood [14], contact area  $784 \text{ cm}^2$ , b – beechwood, contact area  $529 \text{ cm}^2$ , c – softwood, contact area  $729 \text{ cm}^2$ , d – softwood, contact area  $484 \text{ cm}^2$

Zwiększenie nośności kasztu drewnianego uzyskać można poprzez wypełnienie skałą płoną. Porównanie nośności trzech kasztów wykonanych z drewna sosnowego: pustego, pełnego oraz wypełnionego łupkiem przedstawia rysunek 2.11.



**Rys. 2.11.** Przebieg charakterystyki kasztów drewnianych: a – pustego, b – całodrewnego, c – wypełnionego skałą płoną [14]

**Fig. 2.11** Course of the characteristics of wooden cribs: a – empty, b – full-wood, c – filled with waste rock [14]

Przedstawione przez E. Brinkmanna i F. Nevelinga charakterystyki podpornościowe różnych kasztów drewnianych zostały opracowane na podstawie badań laboratoryjnych. Autorzy zasugerowali, że w warunkach dołowych, nośności kasztów drewnianych mogą być o około 50% niższe.

Na podstawie przedstawionych poglądów stwierdzić można, że do podstawowych czynników wpływających na podporność kasztów drewnianych zalicza się:

- rodzaj drewna użytego dla wykonania kasztu,
- liczbę, kształt oraz sposób ułożenia elementów w kaszcie,
- zaciskanie kasztu,
- wysokość oraz szerokość kasztu,
- wypełnienie kasztu skałą płoną.

## 2.2. Pasy podsadzkowe

Do tej grupy zaliczyć można pasy wykonywane: ze skały płonnej, z mieszaniny piasku i wody oraz z różnego typu substancji mineralnych. W ostatnich latach w górnictwie dominują pasy, których podstawowym składnikiem są substancje mineralne.

Aktualnie na rynku polskim działa wiele firm oferujących różnego rodzaju substancje mineralne do wykonywania przychodnikowych pasów ochronnych [39, 40, 41]. Do najczęściej stosowanych, mających walory podpornościowo-izolacyjne, zaliczyć można:

- spoiwa anhydrytowe,
- spoiwa popiołowo-cementowe,
- spoiwa mineralno-cementowe.

**Spoiwa anhydrytowe** produkuje się z następujących komponentów:

- mączki anhydrytowej i/lub kruszywa anhydrytowego,
- aktywatorów i/lub ekspansorów,
- wypełniaczy.

Aktywatory przyspieszają proces wiązania oraz zwiększają parametry wytrzymałościowe zaczynu z mączki anhydrytowej, natomiast ekspansory powodują przyrost objętości mieszaniny. Stosowanie wypełniaczy umożliwia zagospodarowanie różnego typu odpadów przemysłowych. Badania nad opracowaniem optymalnych spoiw anhydrytowych prowadzone były między innymi przez pracowników Politechniki Śląskiej [22, 23] oraz AGH [44].

Dla górnictwa podziemnego opracowano dwa rodzaje spoiw anhydrytowych: aktywowane oraz ekspansywne [23]. Spoiwa aktywowane wykonywane są na bazie mączki anhydrytowej lub na bazie mączki anhydrytowej i gysu anhydrytowego.

Aktywowane spoiwa anhydrytowe na bazie mączki anhydrytowej charakteryzują się ostateczną, doraźną wytrzymałością na ściskanie  $R_{C28} \approx 16\div 28$  MPa, początkiem czasu wiązania w granicach 6÷8 godzin, a także dużą zdolnością penetracji środowiska. Aktywowane spoiwa na bazie mączki anhydrytowej oraz kruszywa charakteryzują się krótkim czasem wiązania i bardzo szybkim przyrostem doraźnej wytrzymałości na ściskanie w czasie ( $R_{C5h} \approx 5$  MPa), jak również wysoką ostateczną wytrzymałością na ściskanie  $R_C \approx 40$  MPa.

Spoiwa anhydrytowe ekspansywne wykonywane są na bazie mączki anhydrytowej z dodatkiem aktywatora i ekspansora. Charakteryzują się przyrostem objętości w początkowym czasie wiązania, dochodzącym nawet do 30%, przy niskiej wytrzymałości na ściskanie, około 2 MPa. Spoiwa ekspansywne wykorzystywane są głównie do wypełniania pustek w górotworze oraz uszczelniania zrobów.

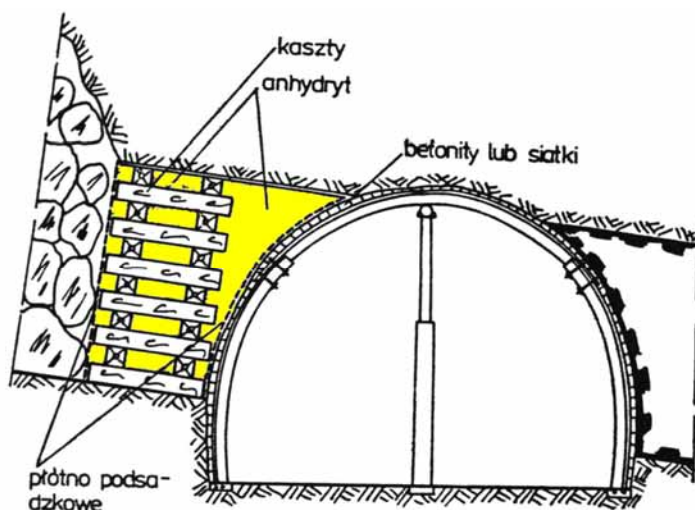
Prace nad możliwością stosowania spoiw anhydrytowych z dodatkiem popiołów lotnych prowadzone były przez J. Postawę i M. Mazurkiewicza [44]. Badaniom poddano mieszaninę mączki anhydrytowej, popiołów lotnych oraz różnego typu aktywatorów. Ustalono między innymi, że większe ilości popiołu lotnego w mieszaninie podsadzki anhydrytowo-popiołowej (na przykład przy stosunku 1:1) powodują dwukrotne zmniejszenie doraźnej wytrzymałości na ściskanie, w porównaniu do wytrzymałości próbek mieszanki anhydrytu bez dodatku popiołu.

Do podstawowych czynników decydujących o doraźnej wytrzymałości spoiwa anhydrytowego zaliczyć można:

- rodzaj mączki oraz gysu anhydrytowego,
- stosunek wody do anhydrytu,
- rodzaj aktywatorów, ekspansorów, wypełniaczy i wzajemny ich stosunek,
- wilgotność i temperaturę otoczenia.

Jeśli chodzi o wpływ wilgotności oraz temperatury to generalnie stwierdzono, że wzrost wilgotności oraz temperatury powoduje obniżenie wytrzymałości na ściskanie spoiwa anhydrytowego [1].

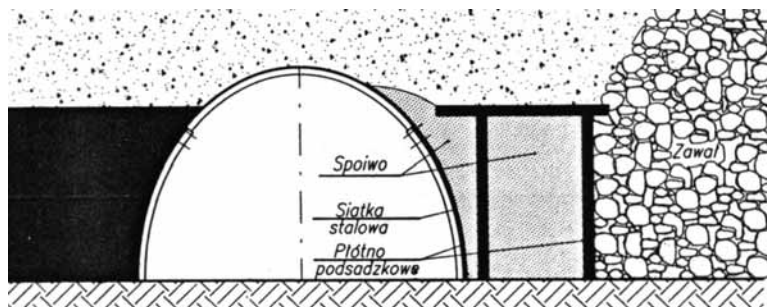
Spojwa anhydrytowe jako pierwsze znalazły szerokie zastosowanie do wykonywania pasów ochronnych w chodnikach przyścianowych. Wzorując się na doświadczeniach niemieckich jedno z pierwszych prób zastosowania spoiw anhydrytowych w Polsce podjęto w kopalni „Ziemowit” [43]. Próby te pozwoliły na uzyskanie pewnych doświadczeń, ale szersze zastosowanie pasów anhydrytowych zaobserwować było można dopiero po opracowaniu przez pracowników Politechniki Śląskiej, systemu transportu pneumatycznego „Polko”. Idea tego systemu polega na podawaniu mączki anhydrytowej za pomocą sprężonego powietrza, natomiast woda z aktywatorem doprowadzana jest rurociągiem równoległym. Połączenie wody z anhydrytem następuje przy końcu rurociągu, w miejscu budowy pasa. Ochronę chodników przyścianowych pasami anhydrytowymi wykonywano między innymi w kopalniach „Moszczenica” [25] oraz „Piaś” [12]. Schemat ochrony chodnika przyścianowego w kopalni „Moszczenica” przedstawiono na rysunku 2.12.



**Rys. 2.12.** Schemat ochrony chodnika przyścianowego w kopalni „Moszczenica” [25]

**Fig. 2.12.** Protection scheme of a longwall entry at Moszczenica mine [25]

Na rysunku 2.12 widać, że od strony zawалу układano kaszt drewniany, a pustą przestrzeń wypełniano aktywowanym tworzywem anhydrytowym. W celu uszczelnienia przestrzeni, do której wtłaczano spoiwo anhydrytowe, stosowano płótno podsadzkowe. Stwierdzono mniejszą deformację chodnika oraz izolacyjne działanie spoiwa anhydrytowego, co minimalizowało zagrożenie pożarowe i metanowe [25]. Pozytywne doświadczenia uzyskano również w kopalni „Piaś”. Pas ochronny wykonywany był w dowierzchni przyścianowej według schematu przedstawionego na rysunku 2.13.

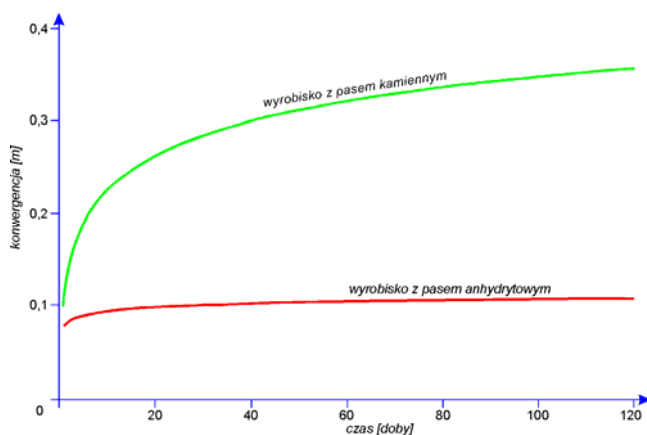


**Rys. 2.13.** Schemat ochrony dowierzchni przyścianowej w kopalni „Piast” [12]

**Fig. 2.13.** Scheme of protection of a raise gallery at Piast mine [12]

Od strony zawału budowano dwa rzędy stojaków drewnianych w odstępie od 0,5 do 1,0 m, zabezpieczając płótnem podsadzkowym przestrzeń przeznaczoną do wypełnienia anhydrytem. W dowierzchni, w której wykonywano pas nie stwierdzono większych deformacji obudowy, a maksymalne obniżenie stropu wyniosło 0,2 m [12].

Badania zmierzające do optymalizacji wymiarów przychodnikowych pasów podsadzkowych, wykonywanych ze spoiw anhydrytowych, prowadził W. Andrusikiewicz [1, 2, 3]. Na podstawie wyników przeprowadzonych pomiarów dołowych w chodnikach przyścianowych, w kopalniach „Borynia” i „Pniówek” [1], przedstawił on porównanie zaciskania wyrobisk chronionych pasem anhydrytowym oraz pasem kamiennym (rys. 2.14), wskazując, że pas anhydrytowy ograniczał zaciskanie chodnika o wiele skuteczniej niż pas kamienny. W. Andrusikiewicz podał również metodę określania optymalnej szerokości pasa anhydrytowego, stwierdzając, że najkorzystniejsza szerokość pasa zawiera się w przedziale 0,7÷1,1 jego wysokości [3].

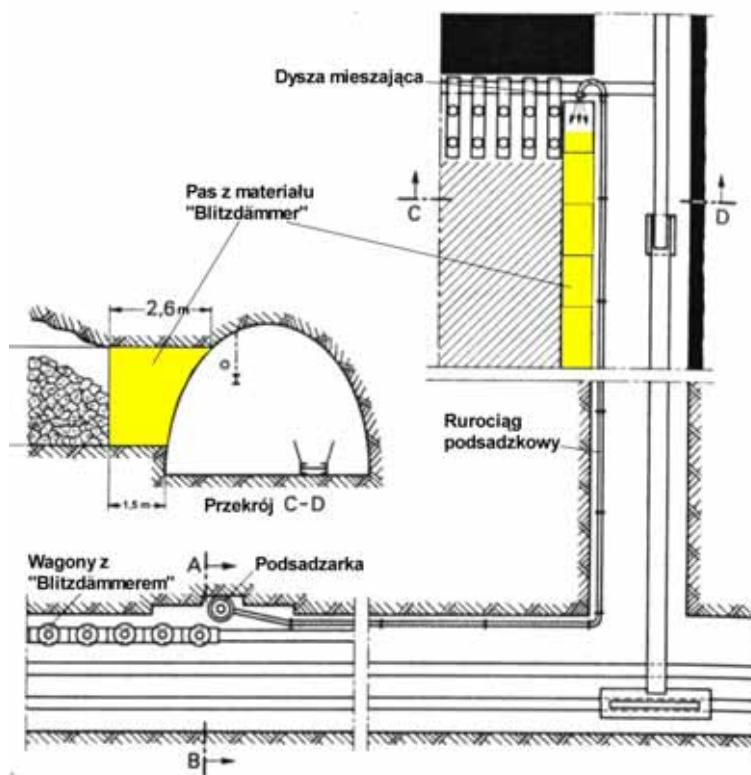


**Rys. 2.14.** Przebieg zaciskania pionowego chodników przyścianowych chronionych pasem anhydrytowym oraz pasem kamiennym [1]

**Fig. 2.14.** Course of vertical convergence of entries protected by anhydrite belt and stone belt [1]

Jak nadmieniono wcześniej, jedne z pierwszych prób stosowania spoiw anhydrytowych w Polsce przeprowadzano wykorzystując doświadczenia niemieckie. W górnictwie niemieckim próby stosowania sztywnych pasów podsadzkowych zamiast kasztów drewnianych zaczęto prowadzić na przełomie lat sześćdziesiątych i siedemdziesiątych.

Próby z wykonywaniem przychodnikowych pasów ochronnych prowadzone były od 1967 roku w kopalni „Heinrich Robert” [35]. W kopalni tej testowano różnego typu urządzenia oraz materiały do wykonywania pasów. Zdecydowano się na próby dołowe z materiałem pod nazwą „Blitzdämmer”, który pod wpływem wody łatwo powiększał objętość, a głównymi jego składnikami były cement i wapno. Korzystnie wypadły próby laboratoryjne tego tworzywa, dotyczące wpływu wilgotności i temperatury na parametry wytrzymałościowe. Wykonano pasy ochronne w dwóch pokładach; schemat instalacji podsadzkowej z pokładu „Robert” przedstawiono na rysunku 2.15.



**Rys. 2.15.** Schemat instalacji do wykonywania pasa ochronnego w kopalni „Heinrich Robert” [35]

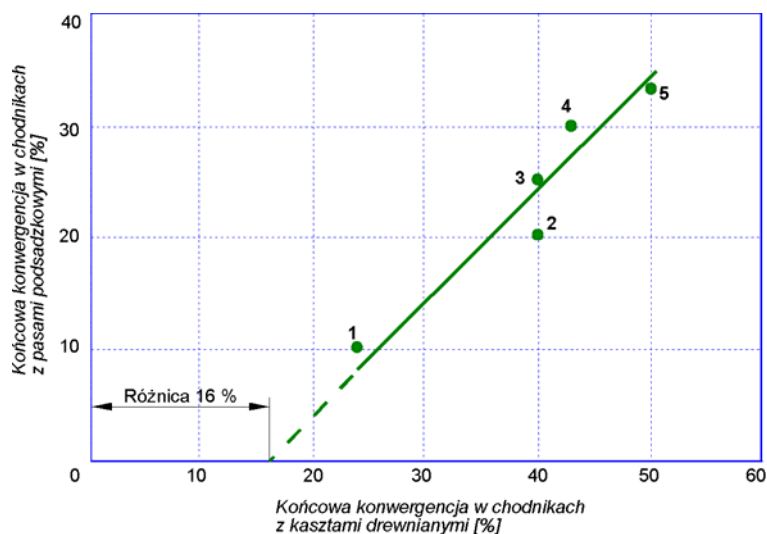
**Fig. 2.15.** Scheme of an installation for preparing a protection belt at Heinrich Robert mine [35]

Materiał „Blitzdämmer” dowożony był w specjalnych wagonach, wprowadzany do podsadzarki i następnie za pomocą sprężonego powietrza, rurowciągiem podawany na miejsce wykonywania pasa. Na końcu rurowciągu następowało mieszanie materiału z wodą w specjalnie skonstruowanej dyszy. Materiał wprowadzano do pojemników z tworzywa sztucznego o pojemności 5 m<sup>3</sup>, ustawianych wzdłuż zrobów ściany. Stwierdzono, że po przejściu ściany chodnik chroniony pasem podsadzkowym z materiału „Blitzdämmer” zachował 85% przekroju poprzecznego, a tam gdzie nie zastosowano pasów podsadzkowych, przekrój poprzeczny chodnika stanowił 65% przekroju początkowego.

Próby dołowe z pasami ochronnymi, wykonywanymi na bazie anhydrytu, prowadzono również na początku lat siedemdziesiątych w kopalniach „Walsum” [27] oraz „Friedrich Heinrich” [24]. W kopalni „Walsum” w chodniku przyścianowym, na długości 800 m, wykonano odcinki pasów ochronnych z anhydrytu oraz kasztów drewnianych. Anhydryt podawano do miejsca wykonywania pasa pneumatycznie, z wykorzystaniem urządzeń firmy „Brieden”. Stwierdzono, że w chodnikach chronionych pasami z anhydrytu konwergencja była o około 30% mniejsza, w porównaniu z chodnikami, w których pasy wykonywano z kasztów drewnianych.

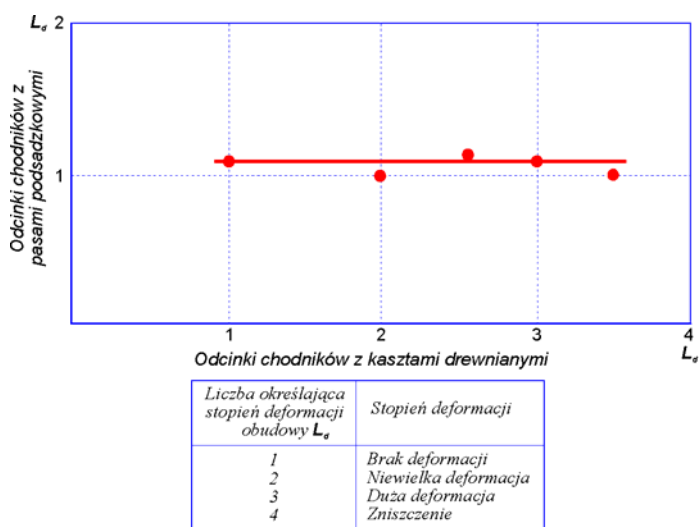
W kopalni „Friedrich Heinrich”, w jednym z chodników przyścianowych wykonano również odcinki pasów ochronnych oraz odcinki kasztów drewnianych, wypełnionych skalą płoną [24]. Na odcinkach chodnika, gdzie wykonywano pasy podsadzkowe stwierdzono mniejsze zaciskanie i mniejszą deformację obudowy za frontem ściany, niż na odcinkach chodnika z kasztami drewnianymi. Analizując koszty stosowania poszczególnych pasów ochronnych podano, że stosowanie pasów podsadzkowych jest opłacalne.

W celu określenia wpływu pasów podsadzkowych na utrzymanie chodników przyścianowych, przeprowadzono w Niemczech szersze badania dołowe [28]. Badania wykonano w sześciu chodnikach przechodzących w jednostronne otoczenie zrobami, w których stosowano pasy podsadzkowe oraz kaszty drewniane. W pięciu chodnikach wykonywano pasy na bazie anhydrytu, a w jednym z materiału „Blitzdämmer”. Wpływ poszczególnych rodzajów pasów na zaciskanie pięciu chodników oraz deformacje ich obudowy przedstawiono na rysunkach 2.16 i 2.17.



**Rys. 2.16.** Końcowa konwergencja w chodnikach na odcinkach z kasztami drewnianymi oraz pasami anhydrytowymi [28]

**Fig. 2.16.** Final convergence in the entries at the sections with wooden cribs and anhydrite belts [28]



**Rys. 2.17.** Deformacja obudowy w chodnikach na odcinkach z kasztami drewnianymi oraz pasami anhydrytowymi [28]

**Fig. 2.17.** Deformation of supports in the entries at the sections with wooden cribs and anhydrite belts [28]

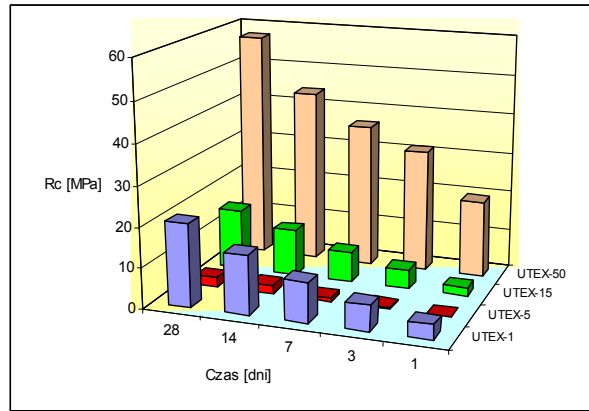
Różnica w zaciskaniu chodników chronionych pasami podsadzkowymi i kasztami drewnianymi wynosiła 16% na korzyść pasów podsadzkowych (rys. 2.16). W chodnikach, w których stosowano pasy podsadzkowe zaobserwowano również mniejszą deformację obudowy (rys. 2.17). Ponadto, w wyniku prowadzonych badań ustalono, że wzrost wysokości oraz prędkości eksploatacji powodował zwiększoną konwergencję chodników.

Doświadczenia niemieckie wykazały, że sztywne pasy podsadzkowe powinny być stosowane do ochrony chodników przyścianowych w przypadku, gdy wytrzymałość na ściskanie skał otaczających wynosi minimum od 20 MPa [24] do 25 MPa [13]. Kiedy skały otaczające chodnik mają mniejszą wytrzymałość, stosowanie sztywnych pasów podsadzkowych może nie przynieść spodziewanych efektów i zaleca się wtedy inne sposoby ochrony chodnika, na przykład za pomocą kasztów drewnianych, budowanych z dwóch stron [13].

Następną grupą spoiw, z których wykonuje się pasy ochronne stanowią **spoiwa popiołowo-cementowe**. Spoiwa te są mieszaniną popiołów lotnych z elektrowni, cementu, wapna hydratyzowanego i innych dodatków przyspieszających wiązanie [39, 40]. Proporcje składników bywają bardzo zróżnicowane, w zależności od oczekiwanych parametrów spoiwa.

Na rynku krajowym dominującą rolę w produkcji spoiw popiołowo-cementowych odgrywa Przedsiębiorstwo UTEX. W jego ofercie znajdują się spoiwa UTEX-1, UTEX-5, UTEX-15 [34] oraz UTEX-50 [36]. Spoiwa UTEX-1 oraz UTEX-15 odznaczają się dobrymi parametrami wytrzymałościowymi i stosowane są do wykonywania pasów ochronnych w chodnikach przyścianowych. Służyć również mogą do szczelnej wykładki obudowy łukowej, wykonywania torkretu osłonowego oraz tam przeciwpożarowych czy przeciwybuchowych. Spoiwo UTEX-5 charakteryzuje się niską wytrzymałością na ściskanie (około 2,5 MPa) i stosowane jest głównie do izolacji zrobów, wypełniania pustek w górotworze czy torkretu osłonowego. Ostatnie z oferowanych spoiw – UTEX-50 odznacza się największą wytrzymałością na ściskanie oraz najkrótszym czasem wiązania. Zalicza się je do spoiw wczesnopodporowych, gdyż po upływie 3 godzin uzyskuje już wytrzymałość na ściskanie 2,6 MPa [36]. Spoiwo UTEX-50 wykonywane jest na bazie cementu, popiołu lotnego oraz aktywatorów chemicznych w postaci sproszkowanej. Z uwagi na właściwości przeznaczone jest do: wykonywania pasów ochronnych w trudnych warunkach górniczo-geologicznych, budowy tam przeciwpożarowych i przeciwybuchowych, torkretu.

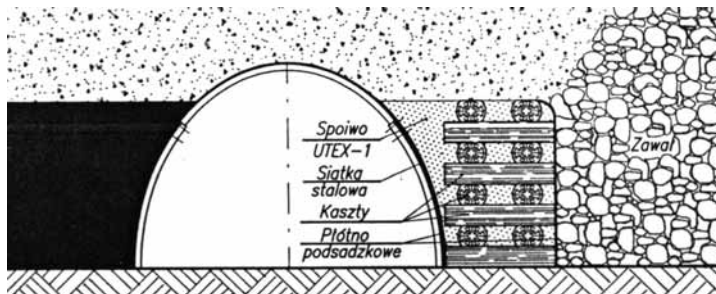
Na rysunku 2.18 przedstawiono zależność wytrzymałości na ściskanie ( $R_c$ ) od czasu dla poszczególnych spoiw typu UTEX, przy następujących stosunkach woda/spoiwo: 0,3 – UTEX-1, 0,35 – UTEX-5, 0,35 – UTEX-15 oraz 0,3 – UTEX-50.



**Rys. 2.18.** Wytrzymałość na ściskanie spoiw typu UTEX

**Fig. 2.18.** Compressive strength of UTEX-type binders

Pasy ochronne ze spoiw typu UTEX wykonywane są najczęściej dwoma sposobami [34]. Pierwszy sposób polega na budowaniu kasztów drewnianych przy zrobach, a następnie wypełnianiu wygrodzonej przestrzeni (wraz z kasztami) spoiwem (rys. 2.19). Sposób ten stosowano między innymi w kopalniach „Jastrzębie” i „Borynia”. Zgodnie z drugim sposobem, przy zrobach wykonuje się podwójny rząd „organów” drewnianych, a przestrzeń pomiędzy „organami” wypełnia się spoiwem, co przedstawiono już wcześniej na rysunku 2.13. Tym sposobem wykonywano między innymi pasy z UTEXU w kopalniach: „Piast”, „Marcel”, „Knurów” oraz „Rydułtowy”.



**Rys. 2.19.** Wykonanie pasa ochronnego ze spoiwa UTEX – I – sposób [34]

**Fig. 2.19.** Realisation of a protection belt using the UTEX binder [34]

Najczęściej do wykonywania pasów ochronnych ze spoiwa UTEX wykorzystywane są urządzenia transportu pneumatycznego systemu „Polko”. System „Polko” stosowany może być w dwóch wariantach. Wariant pierwszy polega na wykorzystaniu podajników komorowych (rys.2.20), które usytuowane są na dole kopalni, na przykład w chodniku przyścianowym.



**Rys. 2.20.** Podajnik komorowy systemu „Polko”

**Fig. 2.20.** Chamber-type feeder of the Polko system

Podajniki te mogą pracować pojedynczo lub w systemie podwójnym, tzw. tandem, w układzie poziomym bądź pionowym. Zastosowanie podajników w układzie tandem pozwala na zwiększenie płynności i wydajności podawania spoiwa. W wariancie drugim pneumatyczny transport materiałów wiążących odbywa się z powierzchni kopalni do miejsca stosowania, z wykorzystaniem wysokociśnieniowych podajników komorowych i stacji pośrednich. Częściej urządzenia systemu „Polko” pracują w wariancie pierwszym. Wariant drugi zastosowano po raz pierwszy w kopalni „Julian”.

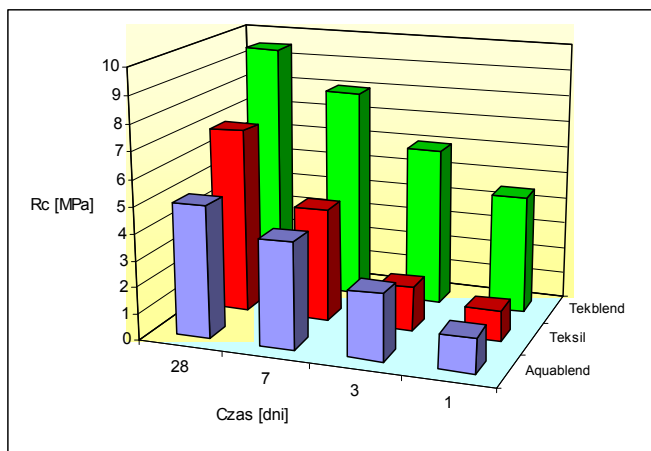
Praktyka wykazała, że stosowanie pasów przychodnikowych ze spoiw sporządzonych na bazie popiołów lotnych daje pozytywne wyniki. Ogranicza ono konwergencję chodników o około 30% [37], zapewniając również izolację zrobów zawałowych. Dodać również należy, że pasy ochronne wykonywane ze spoiw typu UTEX umożliwiają, w racjonalny i bezpieczny sposób, zagospodarowywanie odpadów energetycznych.

Pasy ochronne ze spoiw popiołowo-cementowych wykonywane są także w górnictwie niemieckim [38]. W kopalni „Warndt/Luisenthal”, w chodnikach przyścianowych ściany zawałowej 1 Obk-81, zastosowano pasy ochronne wysokości

i szerokości 4 m. Pasy wykonywano z materiału o nazwie HT 33, który jest mieszaniną cementu oraz popiołów lotnych. Parametry wytrzymałościowe materiału HT 33 zbliżone są do parametrów spoiw UTEX-1 oraz UTEX-15. Pasy w chodnikach przyścianowych ściany 1 Obk-81 wykonywano, dostarczając materiały wiążące za pomocą transportu pneumatyczno-hydraulicznego, z powierzchni. Wskutek stosowania pasów ochronnych ograniczono do minimum deformację obudowy chodnikowej, zapewniając pełną funkcjonalność chodników przyścianowych.

Parametry wytrzymałościowe innych, stosowanych w Niemczech, spoiw popiołowo-cementowych znaleźć można w pracy K. Rułki [53].

Ostatnią grupą spoiw, z których wykonywane są najczęściej przychodnikowe pasy ochronne, są spoiwa **mineralno-cementowe**. Do najczęściej stosowanych spoiw mineralno-cementowych należą Tekblend i Teksil firmy Fosroc oraz Aquablend firmy Pozamet. Oprócz przychodnikowych pasów ochronnych spoiwa te wykorzystywane mogą być do budowy tam przeciwybuchowych, izolacyjnych oraz do wykonywania iniekcji wzmacniających górotwórn. Przyrost wytrzymałości na ściskanie ( $R_c$ ), przy następujących stosunkach woda/spoiwo: 1,5:1 – Tekblend i Teksil, 1,7:1 – Aquablend, przedstawiono na rysunku 2. 21.



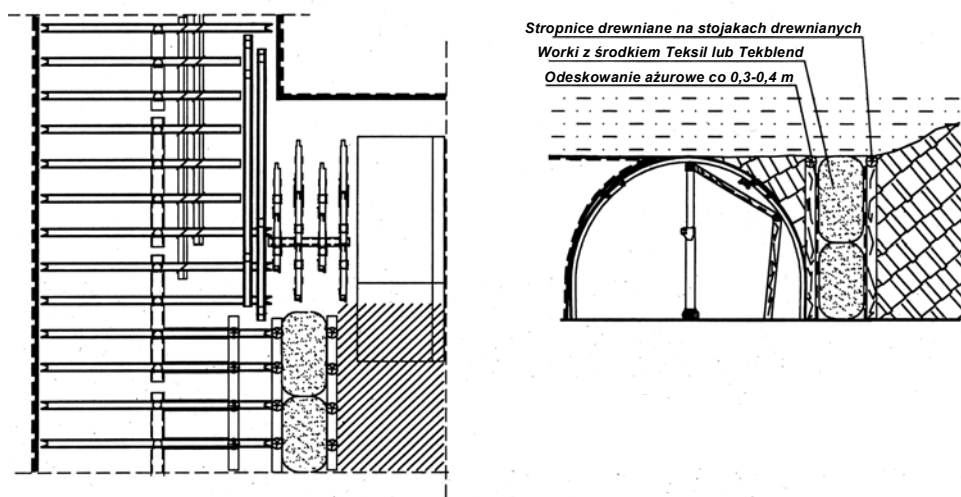
**Rys. 2.21.** Wytrzymałość na ściskanie spoiw mineralno-cementowych

**Fig. 2.21.** Compressive strength of mineral-cement binders

Z rysunku 2.21 wynika, że najwyższą, określoną laboratoryjnie, wytrzymałość na ściskanie ma spoiwo Tekblend, a wynosi ona po 28 dniach 9,5 MPa. Spoiwo to charakteryzuje się również szybkim przyrostem wytrzymałości w czasie. Przy stosunku wody do spoiwa 1,5:1, Tekblend po upływie dwóch godzin uzyskuje wytrzymałość na ściskanie około 2 MPa. Firma Fosroc oferuje również spoiwo Teksil, które ma niższe parametry wytrzymałościowe i nie osiąga w tak krótkim czasie jak Tekblend, wysokiej wytrzymałości. Dla porównania Teksil, przy stosunku woda/spoiwo 1,5:1, po upływie 2 godzin uzyskuje wytrzymałość na ściskanie 0,36 MPa. Spoiwo Aquablend charakteryzuje się w początkowym okresie nieco szybszym przyrostem wytrzymałości na ściskanie w stosunku do Teksilu, lecz po upływie 28 dni

osiąga najniższą wytrzymałość spośród trzech omawianych spoiw. Przypomnieć jednak należy, że spoiwo to badano przy większym stosunku wody do spoiwa – 1,7:1. Zwiększenie parametrów wytrzymałościowych spoiw uzyskać można przez zmniejszenie stosunku woda/spoiwo, dla przykładu Tekblend wymieszany z wodą w stosunku 1:1 osiąga po dwóch godzinach wytrzymałość 5 MPa, a po 28 dniach dochodzącą do 20 MPa.

Wykonywanie pasów przychodnikowych ze spoiw mineralno-cementowych odbywa się podobnie, jak pasów ze spoiwa anhydrytowego czy UTEXU, przy czym Tekblend i Teksil wtlaczane są do specjalnych worków. Od strony zrobów, za pomocą stropnic i stojaków drewnianych, wygradza się przestrzeń, w której wykonywany będzie pas ochronny. Wykonując pas z Aquablendu, przestrzeń ta zabezpieczona zostaje płótnem podsadzkowym, po czym wypełniana jest spoiwem. W przypadku pasów z Tekblendu i Teksilu, spoiwa te wtlacza się do worków, o wymiarach zgodnych z projektowanymi wymiarami danego pasa, najczęściej 1 m × 1 m × 1 m. W górnej części worka znajduje się otwór, przez który podawane jest spoiwo, do czasu uzyskania kontaktu ze stropem, lub wypływu spoiwa przez otwór przelewowy. Najczęściej, z uwagi na wymaganą wysokość pasa, worki układane są jeden na drugim. Przykład wykonania pasów ochronnych ze spoiwa Tekblend w kopalniach „Śląsk” i „Katowice-Kleofas” przedstawiono na rysunkach 2.22 oraz 2.23.



**Rys. 2.22.** Pas ochronny ze spoiwa Tekblend w dowerzchni przyścianowej w kopalni „Śląsk” [42]

**Fig. 2.22.** Protective belt made of the Tekblend binder in a longwall raise at Śląsk mine [42]



**Rys. 2.23.** Pas ochronny ze spoiwa Tekblend w kopalni „Katowice-Kleofas”

**Fig. 2.23.** Protective belt made of the Tekblend binder at Katowice-Kleofas mine

Do podawania spoiw mineralno-cementowych służą różnego typu pompy, przy czym do podawania Aquablendu zaleca się stosowanie pompy typu MONO o symbolu CMPF 2B1A2/N. W przypadku Tekblendu i Teksilu zalecany jest agregat pompowy typu MONO WT. 820 lub jego zmodyfikowana wersja MONO WT. 820/1 (rys. 2.24).



**Rys. 2.24.** Agregat pompowy MONO WT. 820/1

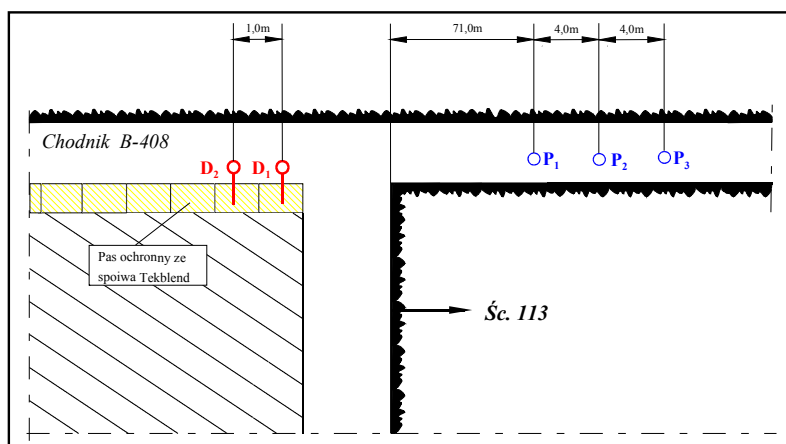
**Fig. 2.24.** MONO WT. 820/1 pumping engine

Zalecane pompy zastępować można pompami innego typu, jak na przykład stosowanym w kopalni „Katowice-Kleofas”, agregatem MP-30/90.

Przychodnikowe pasy ochronne ze spoiwa Tekblend wykonywano między innymi w kopalniach „Śląsk”, „Katowice-Kleofas” oraz „Murcki”. Opinie pracowników tych kopalń [15, 42], dotyczące wpływu pasów ochronnych na utrzymanie chodników przyścianowych, są pozytywne. W chodnikach tych, do oceny przydatności pasów ochronnych, prowadzone były pomiary ich zaciskania, których wyniki opublikowano w [31, 45, 49, 50].

### 3. METODY I ZAKRES POMIARÓW DOŁOWYCH

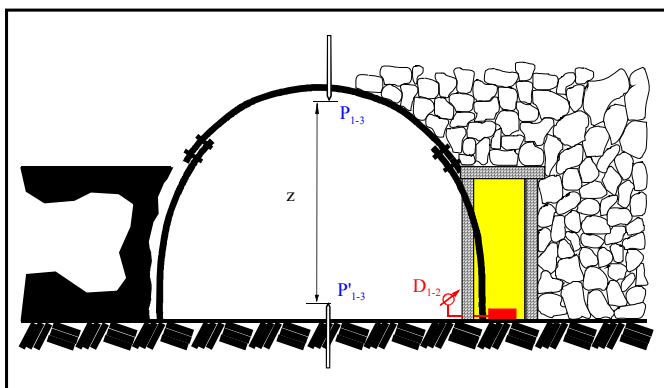
W celu określenia wpływu pasów ochronnych na utrzymanie chodników przyścianowych przeprowadzono pomiary zaciskania pionowego oraz podporności wybranych typów pasów. Pomiary wykonano w dziesięciu chodnikach przyścianowych, utrzymywanych w jednostronnym otoczeniu zrobami. W chodnikach, w odległości kilkudziesięciu metrów przed frontem eksploatacji, zakładano stanowiska do pomiarów zaciskania, obejmujące co najmniej trzy pary punktów pomiarowych:  $P_1 - P_3$  (rys. 3.1).



**Rys. 3.1.** Szkic rozmieszczenia punktów do pomiaru zaciskania oraz dynamometrów do pomiaru podporności pasa ochronnego w chodniku B-408 – kopalni „Murcki”

**Fig. 3.1.** Sketch of the layout of points for measurements of convergence and dynamometers for measurements of load-bearing capacity of a protection belt in the B-408 entry at Murcki mine

Punktami pomiarowymi były najczęściej odcinki kotwi stalowych, mocowane w stropie i spągu chodnika za pomocą ładunków klejowych. Punkty umieszczano w osi chodnika oraz starano się, aby punkt stropowy i odpowiadający mu punkt spągowy, znajdowały się w jednej linii pionowej (rys. 3.2).



**Rys. 3.2.** Szkic stanowiska pomiarowego w chodniku B-408 –kopalni „Murcki”

**Fig. 3.2.** Sketch of measuring setup in B-408 entry at Murcki mine

Pomiar zaciskania polegał na wyznaczaniu wartości wzajemnego, pionowego przemieszczania się punktów pomiarowych w miarę zbliżania się lub oddalania frontu ściany od stanowiska pomiarowego. Pomiary przemieszczeń pionowych punktów przeprowadzano za pomocą konwergometru teleskopowego. Bezpośrednio po założeniu punktów pomiarowych wykonywano pierwszy pomiar zaciskania  $z_1$ . Pomiary kolejne  $z_n$  prowadzone były co najmniej raz na dobę w każdym dniu roboczym. Równocześnie z pomiarami zaciskania określano odległość pomiędzy daną parą punktów pomiarowych, a frontem ściany. Wartość zaciskania chodnika  $z$  w różnych odległościach od ściany obliczano według wzoru

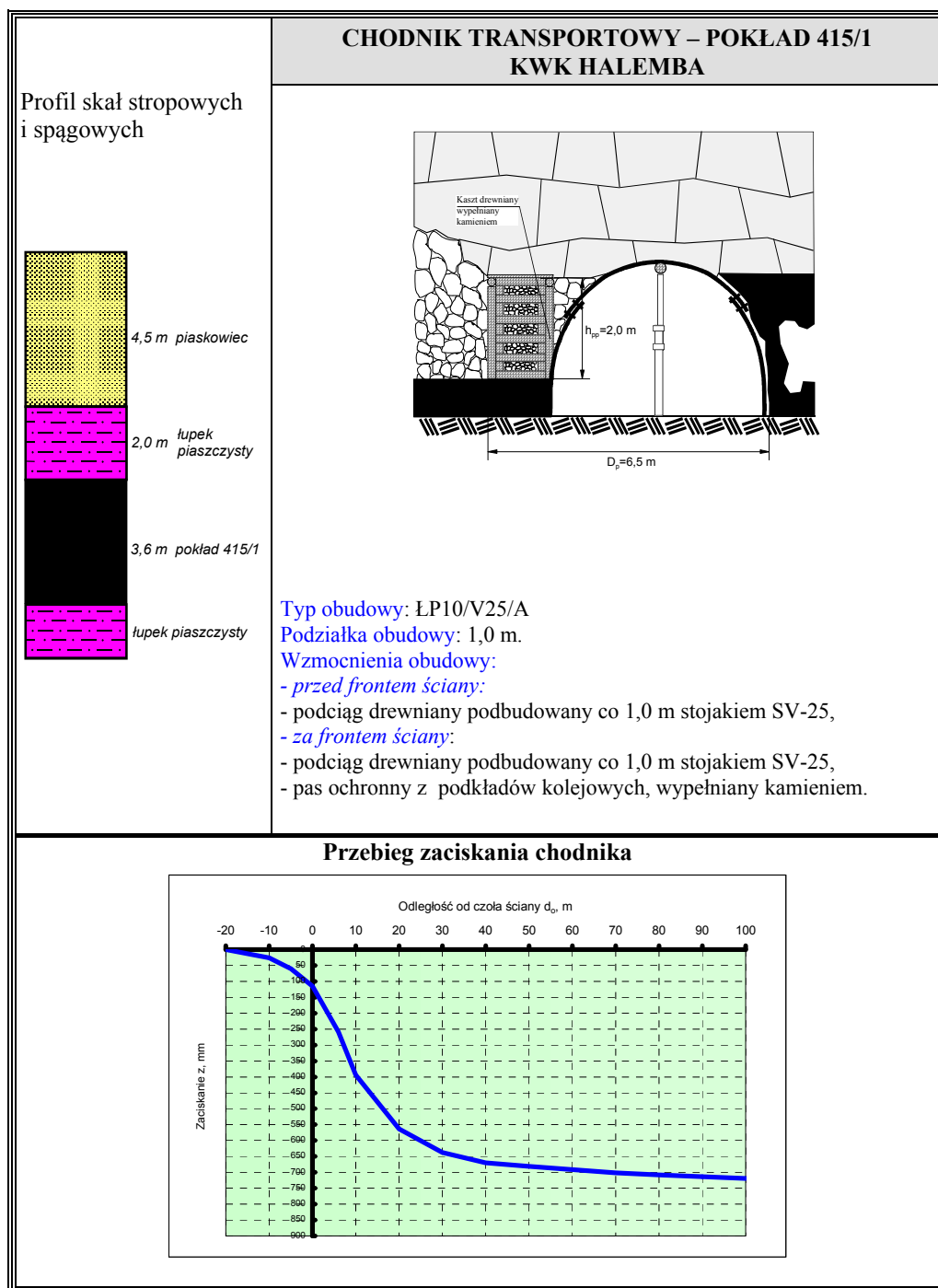
$$z = z_1 - z_n, \text{ mm} \quad (3.1)$$

gdzie:

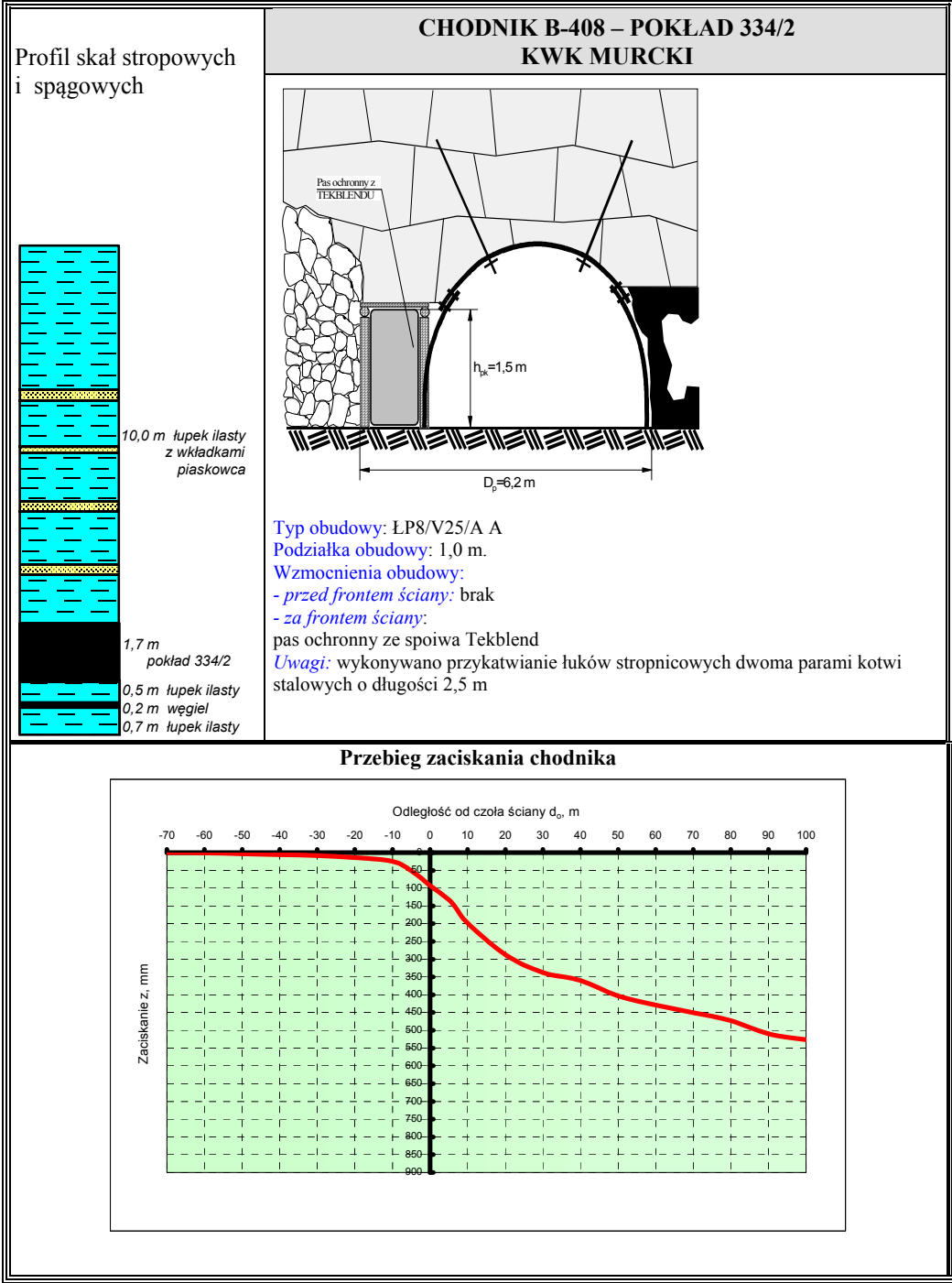
- $z_1$  – odległość pomiędzy punktem stropowym i spągowym, odczytana w pierwszym pomiarze,
- $z_n$  – odległość pomiędzy punktem stropowym i spągowym, odczytana w  $n$ -tym pomiarze. Pomiary wykonywano z dokładnością  $\pm 1\text{mm}$ .

W tablicach 3.1 i 3.2 przedstawiono przykłady przebiegu zaciskania chodników przyścianowych, w których stosowano pas drewniany, wypełniany skałą płoną oraz pas ze spoiwa Tekblend. Podano również krótką charakterystykę tych wyrobisk, szczególnie ich obudowy.

**Tablica 3.1. Charakterystyka oraz przebieg chodnika transportowego ściany 1 – KWK HALEMBA**



Tablica 3.2. Charakterystyka oraz przebieg zaciskania chodnika B-408 – KWK MURCKI



Do określenia podporności pasów ochronnych wykorzystano specjalnie wykonane dynamometry, które umieszczano tuż za frontem ściany (rys. 3.1) pod danym pasem ochronnym (rys. 3.2). Średnica każdego dynamometru wynosiła około 0,16 m. W celu zwiększenia powierzchni jego kontaktu z pasem ochronnym umieszczano go pomiędzy dwoma płytami o wymiarach około 0,5×0,5m. Jedną z płyt układano na spągu chodnika i na niej ustawiany oraz stabilizowany był dynamometr. Na nim układano drugą z płyt. Na takiej konstrukcji wykonywany był pas ochronny. Każdy z dynamometrów połączony był przewodem wysokociśnieniowym z manometrem wskazującym wartość ciśnienia. Korzystając z zależności, uzyskanych na podstawie wykonanego wcześniej cechowania dynamometrów na prasie hydraulicznej, przeliczano wskazywane wartości ciśnienia na wartości siły. Odczyty wskazań dynamometrów wykonywano raz na dobę, w każdym dniu roboczym równocześnie z pomiarem odległości dynamometrów od frontu ściany.

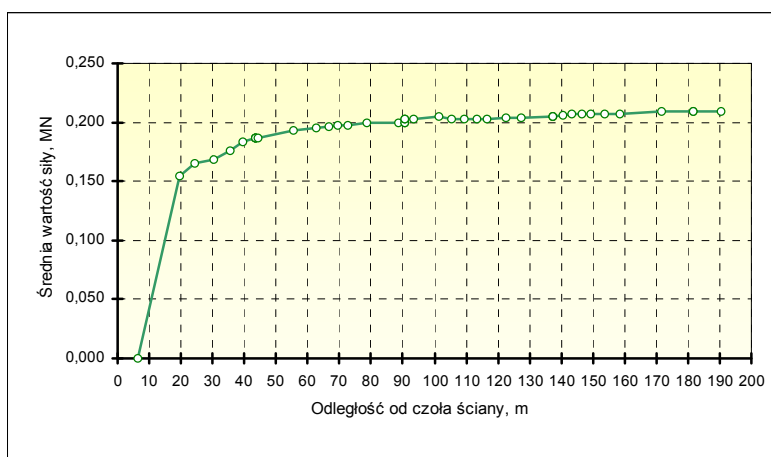
Stanowisko pomiarowe, zakładane w pasie ochronnym ze spoiwa UTEX w kopalni „Rydułtowy”, przedstawiono na rysunku 3.3.

Wyniki pomiarów wartości siły zmierzonej za pomocą dwóch dynamometrów w chodniku B-408, w którym stosowano pas ze spoiwa Tekblend przedstawiono na rysunku 3.4.



**Rys. 3.3** Stanowisko pomiarowe w pasie ochronnym ze spoiwa UTEX-15 w kopalni „Rydułtowy”

**Fig. 3.3.** Measuring set-up in a protection belt made of the UTEX-15 binder at Rydułtowy mine



**Rys. 3.4.** Średnia wartość siły, uzyskana ze wskazań dynamometrów, umieszczonych pod pasem ochronnym w chodniku B-408

**Fig. 3.4.** Mean value of the force from dynamometer readings, positioned under the protection belt at the B-408 entry

#### 4. ZALEŻNOŚCI EMPIRYCZNE DO OBLICZANIA PODPORNOCI WYBRANYCH TYPÓW PASÓW OCHRONNYCH

Wyznaczając wzory pozwalające na obliczanie podporności pasów ochronnych założono, na podstawie badań dotychczas wykonywanych w GIG [5, 7, 9, 10] i pomiarów dołowych [32, 33, 47, 48, 51, 52], że na skutek ruchów górotworu każdy pas ochronny ulega zaciskaniu, przy czym określić można jego *zaciskanie krytyczne*  $z_k$ , przy którym podporność pasa osiąga maksimum. Przyjęto więc, że istnieje ścisła zależność pomiędzy zaciskaniem pasa a osiąganą przez niego podpornością przy czym, gdy narastające zaciskanie pasa  $z$  jest mniejsze od wartości zaciskania krytycznego  $z_k$ , wówczas występuje stały wzrost podporności pasa, natomiast kiedy zaciskanie staje się większe od wartości zaciskania krytycznego, podporność pasa ulega zmniejszeniu.

Wartość zaciskania pasów  $z$  oraz ich zaciskania krytycznego  $z_k$ , jak również wartości podporności, wyznaczone zostały dla każdego badanego pasa ochronnego na podstawie wyników pomiarów dołowych. W dalszej kolejności opracowano tzw. charakterystyki podpornościowe badanych pasów ochronnych, jako zależności ich podporności od stosunku zmierzonego zaciskania do zaciskania krytycznego –  $z/z_k$ .

Tok postępowania przy wyznaczaniu charakterystyk podpornościowych oraz wzorów do obliczania podporności przedstawiono na przykładzie pasów ochronnych z tworzyw Tekblend, Utex oraz pianki krylaminowej.

Do określenia zaciskania krytycznego pasów ochronnych wykorzystano ogólną zależność podaną przez A. Bilińskiego [10]

$$z_k = n_{pi} \cdot h_{pi}, \text{ mm} \quad (4.1)$$

gdzie:

$n_{pi}$  – współczynnik krytycznej deformacji,

$h_{pi}$  – początkowa wysokość pasa ochronnego, mm.

Wartość współczynnika krytycznej deformacji dla pasów z tworzyw mineralnych –  $n_{pk}$  wyznaczono na podstawie analizy wartości sił, uzyskanych ze wskazań dynamometrów umieszczonych pod pasami oraz wartości zmierzonego zaciskania. Stwierdzono, że wartość tego współczynnika zawiera się w przedziale 0,05÷0,25. Wyższe wartości przyjmować należy w przypadku małej sztywności otoczenia pasa, jak słabych skał spągowych lub braku bezpośredniego kontaktu pasa ze stropem, kiedy pomiędzy powierzchnią pasa, a płaszczyzną stropu znajdują się pełne stropnice drewniane lub połowice.

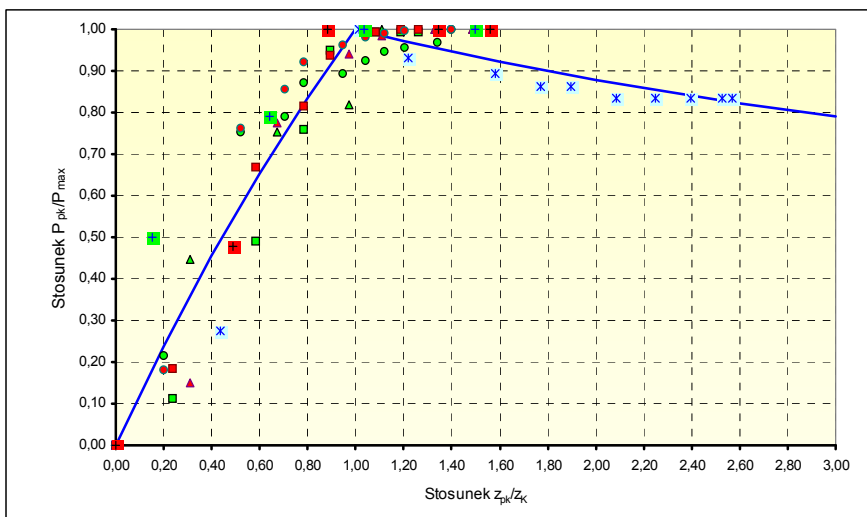
Wartości podporności danego pasa ochronnego uzyskano, przeliczając wartości siły jaką wskazywały dynamometry, z danej powierzchni płyt osłonowych, na rzeczywistą szerokość pasa. Przeliczanie odnoszono do metra długości chodnika.

W tabelicy 4.1 przedstawione zostały wartości zaciskania pasów ochronnych, wykonywanych z tworzyw Tekblend, jak również ich zaciskanie krytyczne oraz wartości podporności.

**Tabela 4.1. Zmierzone zaciskanie oraz podporność pasów ochronnych ze spoiwa Tekblend**

| Pasy ochronne ze spoiwa TEKBLEND                                                                               |                            |                            |                                                                                                                |                            |                            |                                                                                                                |                            |                            |
|----------------------------------------------------------------------------------------------------------------|----------------------------|----------------------------|----------------------------------------------------------------------------------------------------------------|----------------------------|----------------------------|----------------------------------------------------------------------------------------------------------------|----------------------------|----------------------------|
| Pochylnia VII                                                                                                  |                            |                            | Chodnik B-408                                                                                                  |                            |                            | Chodnik 4                                                                                                      |                            |                            |
| zacisk. kryt. – $z_k = 500 \text{ mm}$<br>$z_{pk}$ – zaciskanie pasa, mm<br>$P_{pk}$ – podporność pasa<br>MN/m |                            |                            | zacisk. kryt. – $z_k = 375 \text{ mm}$<br>$z_{pk}$ – zaciskanie pasa, mm<br>$P_{pk}$ – podporność pasa<br>MN/m |                            |                            | zacisk. kryt. – $z_k = 120 \text{ mm}$<br>$z_{pk}$ – zaciskanie pasa, mm<br>$P_{pk}$ – podporność pasa<br>MN/m |                            |                            |
| $Z_{pk}$                                                                                                       | $P_{pk}$<br>Dynam.<br>Nr 1 | $P_{pk}$<br>Dynam.<br>Nr 2 | $Z_{pk}$                                                                                                       | $P_{pk}$<br>Dynam.<br>Nr 1 | $P_{pk}$<br>Dynam.<br>Nr 2 | $Z_{pk}$                                                                                                       | $P_{pk}$<br>Dynam.<br>Nr 1 | $P_{pk}$<br>Dynam.<br>Nr 2 |
| 0                                                                                                              | 0,000                      | 0,000                      | 0                                                                                                              | 0,000                      | 0,000                      | 0                                                                                                              | 0,000                      | 0,000                      |
| 118                                                                                                            | 0,225                      | 0,188                      | 74                                                                                                             | 0,250                      | 0,250                      | 37                                                                                                             | 0,807                      | 0,197                      |
| 291                                                                                                            | 0,981                      | 0,681                      | 195                                                                                                            | 0,875                      | 1,056                      | 81                                                                                                             | 1,357                      | 1,013                      |
| 392                                                                                                            | 1,525                      | 0,831                      | 264                                                                                                            | 0,919                      | 1,188                      | 117                                                                                                            | 1,475                      | 1,230                      |
| 446                                                                                                            | 1,906                      | 0,956                      | 294                                                                                                            | 1,013                      | 1,281                      | 133                                                                                                            | 1,800                      | 1,289                      |
| 506                                                                                                            | 2,006                      | 1,013                      | 355                                                                                                            | 1,038                      | 1,338                      | 159                                                                                                            | 1,800                      | 1,308                      |
| 540                                                                                                            | 1,994                      | 1,013                      | 390                                                                                                            | 1,075                      | 1,363                      | 178                                                                                                            | 1,800                      | 1,308                      |
| 594                                                                                                            | 1,994                      | 1,019                      | 419                                                                                                            | 1,100                      | 1,375                      |                                                                                                                |                            |                            |
| 632                                                                                                            | 1,994                      | 1,019                      | 451                                                                                                            | 1,113                      | 1,381                      |                                                                                                                |                            |                            |
|                                                                                                                |                            |                            | 503                                                                                                            | 1,125                      | 1,381                      |                                                                                                                |                            |                            |
|                                                                                                                |                            |                            | 525                                                                                                            | 1,163                      | 1,388                      |                                                                                                                |                            |                            |

W celu stworzenia charakterystyk podpornościowych pasów z tworzyw, czyli zależności wartości podporności od wartości zaciskania tych pasów, przyjęto układ współrzędnych, w którym na osi  $X$  znalazły się wartości stosunku  $z_{pk}/z_k$ , a na osi  $Y$  wartości stosunku  $P_{pk}/P_{max}$ . Uzyskany zbiór punktów, dla pasów wykonywanych z Tekblendu, Utexu oraz pianki krylaminowej, przedstawiono na rysunku 4.1.



**Rys. 4.1.** Charakterystyka podpornościowa pasów ochronnych, wykonanych ze spoiw Tekblend i UTEX 15 oraz z pianki krylaminowej

**Fig. 4.1.** Load-bearing capacity characteristics of protection belts made of the Takblend and UTEX-15 and crylamine foam

Dla zbioru punktów, przedstawionego na rysunku 4.1, wyznaczono równania krzywych, których przebieg był najbardziej zbliżony do otrzymanego rozkładu punktów. Analizując rozkład punktów pomiarowych uznano, że należałoby się posłużyć dwoma krzywymi, o charakterze hiperbol. Pierwsza krzywa, o charakterze

rosnącym, przebiegać powinna od punktu  $\frac{z_{pk}}{z_k} = 0$  oraz  $\frac{P_{pk}}{P_{max}} = 0$  do punktu, gdzie

$\frac{z_{pk}}{z_k} = 1$  oraz  $\frac{P_{pk}}{P_{max}} = 1$ . Druga krzywa, o charakterze malejącym, obejmować powinna

przedziały wartości  $\frac{z_{pk}}{z_k} > 1$  oraz  $\frac{P_{pk}}{P_{max}} < 1$ .

Wyznaczając równania krzywych hiperbolicznych wykonano analizę regresji nieliniowej za pomocą programu STATISTICA 5.0. Następnie, na podstawie przeprowadzonej analizy literaturowej określono podstawowe wielkości, wpływające na podporność pasów ochronnych z tworzyw mineralnych. Wykonując odpowiednie przekształcenia otrzymanych równań uzyskano następujące zależności do obliczania **podporności pasów ochronnych, wykonywanych z tworzyw mineralnych**

- *podporność maksymalna pasa ( $z_{pk} = z_k$ )*

$$P_{\max} = \frac{R_{pk}}{\frac{0,004 \cdot h_{pk} \cdot n_{hk}}{D_{pk}} + 0,4}, \text{ MN/m} \quad (4.2)$$

- *podporność pasa w przypadku nieprzekroczenia wartości jego zaciskania krytycznego ( $z_{pk} < z_k$ )*

$$P_{1pk} = \frac{R_{pk}}{\left( \frac{0,004 \cdot h_{pk} \cdot n_{hk}}{D_{pk}} + 0,4 \right) \cdot \left( \frac{0,8}{\frac{z_{pk}}{z_k}} + 0,2 \right)}, \text{ MN/m} \quad (4.3)$$

- *podporność pasa w przypadku przekroczenia wartości jego zaciskania krytycznego ( $z_{pk} > z_k$ )*

$$P_{2pk} = P_{\max} \cdot \left( 1 - \frac{1}{\frac{7}{\left( \frac{z_{pk}}{z_k} - 1 \right)} + 1,3} \right), \text{ MN/m} \quad (4.4)$$

gdzie:

- $z_{pk}$  – zaciskanie pasa, mm;
- $z_k$  – zaciskanie krytyczne pasa, mm;
- $h_{pk}$  – początkowa wysokość pasa, mm;
- $D_{pk}$  – szerokość pasa, m;
- $n_{hk}$  – współczynnik rozpełzania pasa;
- $R_{pk}$  – wytrzymałość na ściskanie materiału z jakiego jest pas wykonany, MPa.

W podobny sposób, wykorzystując wyniki pomiarów dołowych oraz analizę literaturową, wyznaczono również zależności empiryczne do obliczania podporności pasów ochronnych wykonanych z drewna oraz pasów drewnianych, które wypełniane były skalą płonną. Zależności te dla tego typu pasów przedstawiają się następująco:

## Pas ochronny wykonywany z drewna

- podporność maksymalna pasa ( $z_{pd} = z_k$ )

$$P_{\max} = \frac{(n_b \cdot d_s)^2 \cdot R_{dr}}{b_{pd} \cdot \left( \frac{0,009}{F} + 0,002 \right)}, \text{ MN/m} \quad (4.5)$$

- podporność pasa w przypadku nieprzekroczenia wartości jego zaciskania krytycznego ( $z_{pd} < z_k$ )

$$P_{1pd} = \frac{(n_b \cdot d_s)^2 \cdot R_{dr}}{b_{pd} \cdot \left( \frac{0,55}{\frac{z_{pd}}{z_k}} + 0,45 \right) \cdot \left( \frac{0,009}{F} + 0,002 \right)}, \text{ MN/m} \quad (4.6)$$

- podporność pasa w przypadku przekroczenia wartości jego zaciskania krytycznego ( $z_{pd} > z_k$ )

$$P_{2pd} = P_{\max} \cdot \left( 1 - \frac{1}{\frac{1}{\left( \frac{0,03}{F} + 0,115 \right) \cdot \left( \frac{z_{pd}}{z_k} - 1 \right)} + \frac{1}{\left( \frac{0,04}{F} + 0,73 \right)}} \right), \text{ MN/m} \quad (4.7)$$

gdzie:

$z_{pd}$  – zaciskanie pasa, mm;

$z_k$  – zaciskanie krytyczne pasa, mm;

$h_{pd}$  – wysokość początkowa pasa, mm;

$R_{dr}$  – wytrzymałość poprzeczna drewna, MPa;

$d_s$  – średnica belek drewnianych (bądź podkładów kolejowych), m;

$b_{pd}$  – podziałka pasów drewnianych, liczona wzdłuż osi chodnika, m;

$F$  – stosunek powierzchni nośnej belek drewnianych do całkowitej powierzchni pasa;

$D_{pd}$  – szerokość pasa drewnianego, m;

$n_b$  – współczynnik styku belek lub podkładów drewnianych w pasie;

$i_d$  – liczba skrzyżowań belek w pasie.

## Pas ochronny drewniany z wypełnieniem

- *podporność maksymalna pasa ( $z_{pp} = z_k$ )*

$$P_{\max} = \left[ \frac{(n_b \cdot d_s)^2 \cdot R_{dr}}{b_{pp} \cdot \left( \frac{0,009}{F} + 0,002 \right)} + \frac{R_{pk}}{\left( \frac{0,004 \cdot h_{pp} \cdot n_{hk}}{D_{pp}} + 0,4 \right)} \right], \text{ MN/m} \quad (4.8)$$

- *podporność pasa w przypadku nieprzekroczenia wartości jego zaciskania krytycznego ( $z_{pp} < z_k$ )*

$$P_{1pp} = \left[ \frac{(n_b \cdot d_s)^2 \cdot R_{dr}}{b_{pp} \cdot \left( \frac{0,009}{F} + 0,002 \right)} + \frac{R_{pk}}{\left( \frac{0,004 \cdot h_{pp} \cdot n_{hk}}{D_{pp}} + 0,4 \right)} \right] \cdot \left( \frac{0,7}{\frac{z_{pp}}{z_k}} + 0,3 \right), \text{ MN/m} \quad (4.9)$$

- *podporność pasa w przypadku przekroczenia wartości jego zaciskania krytycznego ( $z_{pp} > z_k$ )*

$$P_{2pp} = P_{\max} \cdot \left( 1 - \frac{1}{\frac{1}{\left( \frac{0,03}{F} + 0,115 \right) \cdot \left( \frac{z_{pp}}{z_k} - 1 \right)} + \frac{1}{\left( \frac{0,04}{F} + 0,73 \right)}} \right), \text{ MN/m} \quad (4.10)$$

gdzie:

$z_{pp}$  – zaciskanie pasa, mm;

$z_k$  – zaciskanie krytyczne pasa, mm;

$h_{pp}$  – wysokość początkowa pasa, mm;

$D_{pp}$  – szerokość pasa, m;

$b_{pp}$  – podziałka pasa, liczona wzdłuż osi chodnika, m;

$n_{hk}$  – współczynnik rozpełzania pasa;

$R_{pk}$  – wytrzymałość na ściskanie materiału stanowiącego wypełnienie pasa, MPa.

Praktyczne wykorzystanie wyznaczonych zależności do obliczania podporności pasów ochronnych pokazano na poniższym przykładzie.

## Przykład obliczenia podporności pasa ochronnego ze spoiwa mineralnego

Założono, że do ochrony chodnika przyścianowego zastosowany będzie pas wykonany z tworzywa mineralnego. Szerokość pasa wynosić będzie 1,2 m, a wysokość początkowa 2,0 m. Chodnik znajdować się będzie początkowo w obustronnym otoczeniu calizną węglową, a następnie w jednostronnym otoczeniu zrobami zawalowymi. Planuje się utrzymanie chodnika za frontem ściany na długości około 800 m. Znając, wyznaczoną laboratoryjnie wytrzymałość na ściskanie tworzywa  $R_c = 10 \text{ MPa}$ , określić należy wielkość podporności pasa na metr długości chodnika.

W celu wykonania tak postawionego zadania wykonać należy kolejno następujące obliczenia:

### 1. Obliczenie zaciskania krytycznego pasa według wzoru (4.1)

$$z_k = n_{pk} \cdot h_{pk}$$

gdzie:

$h_{pk}$  – wysokość początkowa pasa,

$n_{pk}$  – współczynnik krytycznej deformacji pasa,

w przedstawianym przykładzie

$h_{pk} = 2000 \text{ mm}$ ,

$n_{pk} = 0,15$  – przyjęto wartość średnią dla pasów wykonywanych z tworzyw mineralnych,

czyli:  $z_k = 300 \text{ mm}$ .

Zatem, gdy zaciskanie pasa wyniesie 300 mm, osiągnie on podporność maksymalną.

### 2. Obliczenie wartości wytrzymałości pasa $R_{pk}$

Na podstawie wyników pomiarów stwierdzono, że w warunkach dołowych wytrzymałość tworzyw, z których wykonywano pasy, nie osiąga wartości wyznaczonych laboratoryjnie. Na tej podstawie wprowadzono następujący wzór do określenia rzeczywistej wartości wytrzymałości tworzywa –  $R_{pk}$

$$R_{pk} = w_r \cdot R_c, \text{ MPa} \quad (4.11)$$

gdzie:

$w_r$  – współczynnik redukcyjny,

$R_c$  – maksymalna, określana laboratoryjnie, wytrzymałość na jednoosiowe ściskanie danego typu tworzywa, MPa,

w omawianym przykładzie:

$R_c = 10 \text{ MPa}$ ,

$w_r = 0,5$  – przyjęto wartość średnią współczynnika,

zatem:  $R_{pk} = 5 \text{ MPa}$ .

### 3. Prognozowane zaciskanie chodnika przyścianowego

Dla danych warunków górnictwo-geologicznych wykonuje się prognozę zaciskania chodnika przyścianowego na całej utrzymywanej jego długości. Przyjmuje się, że zaciskanie to odpowiadać będzie zaciskaniu pasa ochronnego  $z_{pk}$ . Prognozę wykonać

można na przykład z wykorzystaniem metody GIG [5, 9]. W celu uzyskania w miarę dokładnej charakterystyki podpornościowej pasa, obliczenia zaciskania wykonuje się dla całej utrzymywanej długości chodnika (800 m), z krokiem co 10 m, na pierwszych 50 metrach długości, a następnie z krokiem co 100 m. W dalszej kolejności oblicza

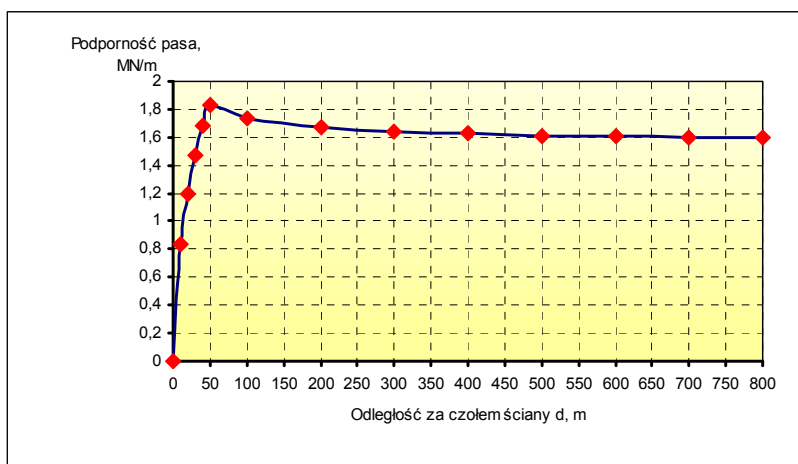
się, dla tych samych długości chodnika, stosunek  $\frac{z_{pk}}{z_k}$ , czyli zaciskania pasa do zaciskania krytycznego.

4. Obliczenie, za pomocą wzorów (4.3) i (4.4), wartości podporności pasa ochronnego na całej długości chodnika, utrzymywanej za frontem ściany, w zależności od wartości stosunku  $z_{pk}/z_k$

**Tabela 4.2. Obliczone zaciskanie oraz podporność pasa ochronnego**

| Odległość za frontem ściany, m | Prognozowane zaciskanie pasa ochronnego $Z_{pk}$ , mm | Stosunki zaciskania pasa do zaciskania krytycznego $Z_{pk}/Z_k$ | Podporność przychodnikowego pasa ochronnego ze spoiwa mineralnego $P_{pk}$ , MN/m |
|--------------------------------|-------------------------------------------------------|-----------------------------------------------------------------|-----------------------------------------------------------------------------------|
| 10                             | 120                                                   | 0,40                                                            | 0,831                                                                             |
| 20                             | 180                                                   | 0,60                                                            | 1,193                                                                             |
| 30                             | 230                                                   | 0,77                                                            | 1,471                                                                             |
| 40                             | 270                                                   | 0,90                                                            | 1,680                                                                             |
| 50                             | 300                                                   | <b>1,00</b>                                                     | <b>1,829</b>                                                                      |
| 100                            | 410                                                   | 1,37                                                            | 1,738                                                                             |
| 200                            | 500                                                   | 1,67                                                            | 1,672                                                                             |
| 300                            | 550                                                   | 1,83                                                            | 1,638                                                                             |
| 400                            | 570                                                   | 1,90                                                            | 1,625                                                                             |
| 500                            | 590                                                   | 1,97                                                            | 1,612                                                                             |
| 600                            | 600                                                   | 2,00                                                            | 1,606                                                                             |
| 700                            | 605                                                   | 2,02                                                            | 1,603                                                                             |
| 800                            | 610                                                   | 2,03                                                            | 1,600                                                                             |

Przebieg podporności pasa ochronnego na całej, utrzymywanej długości chodnika przedstawiono na rysunku 4.2.



**Rys. 4.2.** Przebieg podporności pasa ochronnego za frontem ściany

**Fig. 4.2.** Course of the load-bearing capacity of a protection belt behind the longwall front

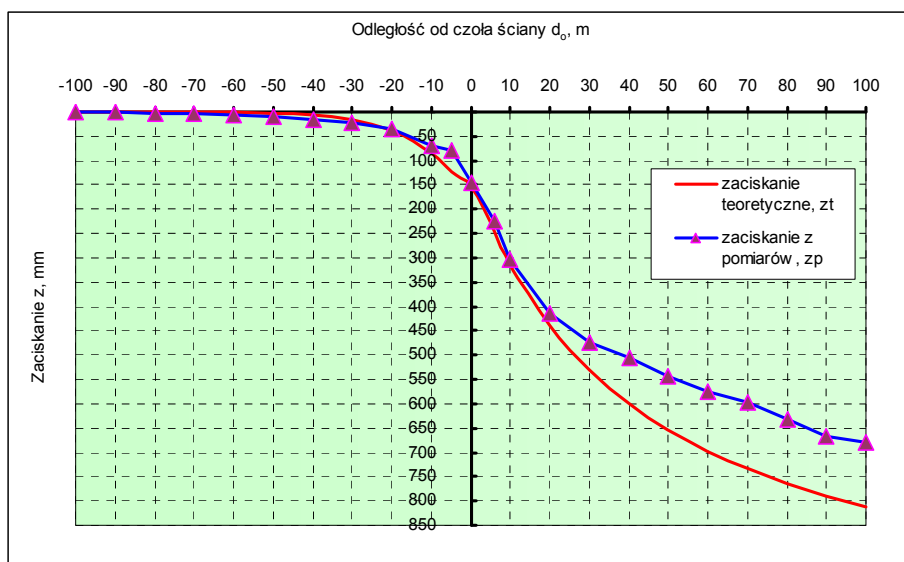
Charakterystyczny jest wzrost podporności pasa ochronnego na odcinku od czoła ściany do około 50m. Następnie zaś, po osiągnięciu podporności maksymalnej, widoczne jest nieznaczne obniżenie się wartości podporności i wreszcie jej stabilizacja.

## 5. OKREŚLENIE WPŁYWU PASÓW OCHRONNYCH NA UTRZYMANIE CHODNIKÓW PRZYŚCIANOWYCH

Określenie wpływu danego typu pasa ochronnego na utrzymanie chodników przyścianowych jest niezwykle istotne dla praktyki górniczej. Kopalnie, decydując się bardzo często na kosztowne przedsięwzięcie wykonywania pasów ochronnych, zainteresowane są możliwością oszacowania warunków utrzymania danego wyrobiska, na etapie projektowania jego obudowy. Szczególnie jeśli chodzi o chodniki utrzymywane za frontem eksploatacji.

W celu określenia wpływu pasów ochronnych na utrzymanie chodników przyścianowych za frontem eksploatacji podjęto próbę ustalenia, w jakim stopniu pasy te wpłynęły na wartość zaciskania w chodnikach, w których prowadzono pomiary dołowe.

W celu stwierdzenia, czy w badanych chodnikach ograniczone zostało ich zaciskanie obliczono dla nich, zgodnie z metodą GIG [5, 9], wartości zaciskania teoretycznego  $z_t$ . Przykład przebiegu zaciskania, uzyskanego z pomiarów dołowych chodnika ścianowego 3 w kopalni „Halemba” w porównaniu z zaciskaniem teoretycznym, przedstawiono na rysunku 5.1.



**Rys. 5.1.** Zaciskanie pomiarowe i teoretyczne chodnika ścianowego 3

**Fig. 5.1.** Measured and theoretical convergence of the N°3 longwall entry

Dla każdego z chodników przyścianowych obliczono następnie wartości stosunków zaciskania uzyskanego z pomiarów  $z_p$  i zaciskania teoretycznego  $z_t$  przyjmując, że będzie to miara ograniczenia wartości zaciskania w chodniku. Dla przykładu, kiedy wartość stosunku  $z_p/z_t$  wyniosłaby 0,5, wówczas znaczyłoby to, że wystąpiło ograniczenie zaciskania danego chodnika o 50%. Ponadto, według metody GIG [7, 8, 9, 51], obliczono również wartości sumarycznej podporności obudowy  $P$  w badanych chodnikach oraz wartości obciążenia górotworu  $Q$ . Następnie określono wartości stosunków tych wielkości  $P/Q$ .

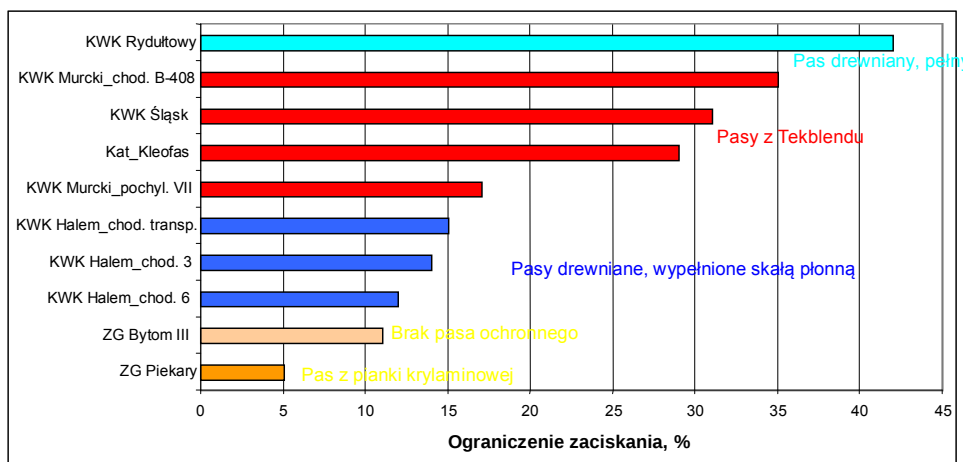
Dla lepszego porównania zmian wartości stosunków  $z_p/z_t$  i  $P/Q$ , we wszystkich badanych chodnikach przyścianowych, obliczono ich średnie dla każdego chodnika. Wyniki obliczeń przedstawiono w tablicy 5.1.

**Tablica 5.1. Średnie wartości stosunków  $z_p/z_t$  i  $P/Q$  w badanych chodnikach przyścianowych**

| Rodzaj pasa ochronnego               | Kopalnia                          | Stosunek $P/Q$ | Stosunek $Z_{pom.}/Z_{teor.}$ | Ograniczenie zaciskania % |
|--------------------------------------|-----------------------------------|----------------|-------------------------------|---------------------------|
| Pas ochronny z tworzywa Tekblend     | „Śląsk”                           | 2,78           | 0,69                          | 31                        |
|                                      | „Murcki”<br>Pochylnia VII         | 2,24           | 0,83                          | 17                        |
|                                      | „Murcki”<br>Chodnik B-408         | 3,38           | 0,65                          | 35                        |
|                                      | „Katowice-Kleofas”                | 2,92           | 0,71                          | 29                        |
| Pas drewniany wypełniony skalą płoną | „Halemba”<br>Chodnik 3            | 1,66           | 0,86                          | 14                        |
|                                      | „Halemba”<br>Chodnik transportowy | 1,34           | 0,85                          | 15                        |
|                                      | „Halemba”<br>Chodnik 6            | 1,24           | 0,88                          | 12                        |
| Pas drewniany, pełny                 | „Rydułtowy”                       | 3,47           | 0,58                          | 42                        |
| Pas z pianki krylaminowej            | ZG Piekary                        | 0,9            | 0,95                          | 5                         |
| Brak pasa ochronnego                 | ZG Bytom III                      | 1,51           | 0,89                          | 11                        |

Analizując przedstawione w tablicy 5.1 wartości stwierdzono, że we wszystkich chodnikach, w których prowadzone były akcje pomiarowe wystąpiło ograniczenie zaciskania w stosunku do zaciskania prognozowanego. W każdym z chodników, z wyjątkiem upadowej 2 w ZG Piekary, stosunek  $P/Q$  był większy od 1 co oznacza, iż sumaryczna podporność obudowy była większa od występującego obciążenia górotworu. Zauważono również, że średnie zmniejszenie zaciskania w chodnikach, w których stosowano pasy ze *społwa Tekblend wyniosło 28%, w chodnikach z pasami drewnianymi, wypełnionymi skalą płoną – 14%*. Największe ograniczenie zaciskania – **42%** wystąpiło w chodniku przyścianowym w kopalni „Rydułtowy”, w którym stosowany był pas drewniany pełny. W upadowej 2 w ZG Piekary, gdzie wartość stosunku  $P/Q < 1$  przyjąć należy, że nie wystąpiło istotne ograniczenie zaciskania i  $z_p \cong z_t$ . Wynika to z faktu stosowania w upadowej 2 pasa ochronnego, który spełniał głównie zadanie izolacji zrobów, a jego parametry podpornościowe były niskie.

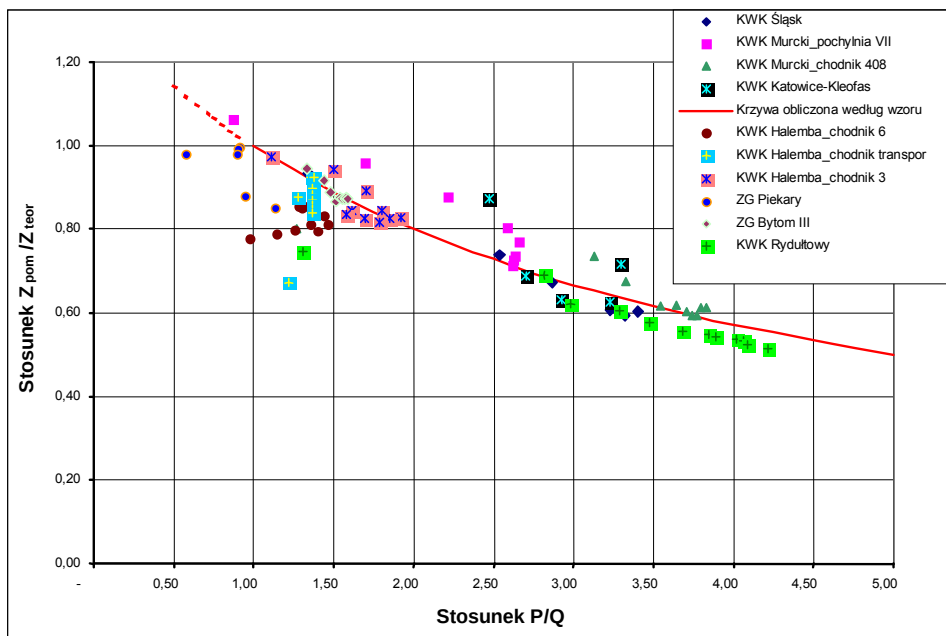
Wartości ograniczenia zaciskania we wszystkich badanych chodnikach przyścianowych przedstawiono na rysunku 5.2.



**Rys. 5.2.** Średnie wartości ograniczenia zaciskania w badanych chodnikach przyścianowych

**Fig. 5.2.** Mean values of convergence limitation in the investigated longwall entries

W celu umożliwienia praktycznej oceny wpływu danego typu pasa ochronnego na utrzymanie chodnika przyścianowego wyznaczono zależność pomiędzy stosunkami  $P/Q$  oraz  $z_p/z_t$ . Wartości tych stosunków, dla wszystkich chodników przyścianowych, w których prowadzono pomiary, przedstawiono na wspólnym wykresie – rysunek 5.3.



**Rys. 5.3.** Zależność stosunków  $P/Q$  oraz  $z_p/z_t$  w badanych chodnikach przyścianowych

**Fig. 5.3.** Dependence of  $P/Q$  and  $z_p/z_t$  ratios in the investigated longwall entries

Na podstawie analizy otrzymanego rozkładu punktów oraz obliczeń statystycznych otrzymano następującą postać funkcji, obrazującej zależność pomiędzy zaciskaniem, podpornością oraz obciążeniem chodników przyścianowych

$$\frac{z_{pom}}{z_{ter}} = \frac{1}{0,25 \cdot \frac{P}{Q} + 0,75} \quad (5.1)$$

Przebieg funkcji, określonej wzorem (5.1), przedstawiono na rysunku 5.3.

Na podstawie uzyskanej zależności pomiędzy stosunkami sumarycznej podporności zastosowanej obudowy chodnika do działającego obciążenia górotworu –  $P/Q$  oraz stosunkiem zaciskania pomiarowego (rzeczywistego) do zaciskania teoretycznego (prognozowanego) –  $z_p/z_t$  – można określić wpływ danego typu pasa ochronnego na ograniczenie zaciskania w chodniku przyścianowym. W celu pokazania praktycznego wykorzystania wzoru (5.1) podano przykład obliczeniowy.

### **Przykład określenia wpływu pasów ochronnych na utrzymanie chodnika przyścianowego**

*W kopalni zaplanowano utrzymanie jednego z chodników przyścianowych za frontem eksploatacji, na długości około 800 m. Wysokość ściany wyniesie 2,3 m. Chodnik przyścianowy przechodzić będzie z obustronnego otoczenia calizną w jednostronne otoczenie zrobami. Obudowę chodnika stanowią będą odrzwia łukowe podatne, wykonane z kształtownika V25, wielkość odrzwi – 8. Odrzwia obudowy będą stawiane z podziałką 1,0 m. Dodatkowo w osi chodnika budowany będzie podciąg drewniany o średnicy około 0,2 m, podbudowany stojakami Valent. Założono, że wartość zaciskania chodnika nie może przekroczyć 1,0 m. Gdyby wartość ta była przekroczona, a przeznaczona do zastosowania obudowa chodnika nie będzie w stanie zaciskania tego ograniczyć, wówczas rozważyć należy możliwość wykonania przychodnikowego pasa ochronnego. Z uwagi na zagrożenie pożarami endogenicznymi pas ten powinien być wykonywany z tworzywa mineralnego.*

**Uwaga:** w przykładzie tym przyjęto pojęcie *zaciskania dopuszczalnego lub akceptowalnego*, które odpowiada we wcześniejszych rozważaniach, *zaciskaniu pomiarowemu*. Z tego względu zaciskanie przyjęte przez kopalnię jako dopuszczalne, wynoszące w tym przypadku 1 m, oznaczane będzie jako  $z_p$ . Średnie zaciskanie prognozowane, określane wcześniej jako teoretyczne, oznaczane będzie symbolem  $z_t$ . Zachowanie tych oznaczeń pozwala na korzystanie z wcześniej wyprowadzonych zależności bez dodatkowych objaśnień.

#### *1. Obliczenie prognozowanego zaciskania $z_t$ chodnika przyścianowego oraz analiza wyników*

Pierwszym krokiem jest obliczenie zaciskania chodnika przyścianowego za frontem eksploatacji. W omawianym przykładzie, wykorzystując metodę GIG prognozowania zaciskania chodników przyścianowych [9], otrzymano średnie

zaciskanie chodnika na długości 800 m, którego wartości od 200 m za czołem ściany są wyższe od 1000 mm. Wartości te przekroczyły akceptowane przez kopalnię zaciskanie chodnika. Podjęto więc decyzję, że zaciskanie chodnika powinno zostać ograniczone o 20% (uzyskano wartości zaciskania dopuszczalnego). Wyniki obliczeń zacisków przedstawiono w tablicy 5.2.

**Tablica 5.2. Wyniki obliczeń prognozowanego zaciskania chodnika przyścianowego**

| Odległość za frontem ściany<br><i>d</i> , m | Średnie, prognozowane zaciskanie chodnika<br><i>Z<sub>t</sub></i> , mm | Zaciskanie dopuszczalne<br><i>Z<sub>p</sub></i> , mm |
|---------------------------------------------|------------------------------------------------------------------------|------------------------------------------------------|
| 6                                           | 200                                                                    | 160                                                  |
| 10                                          | 243                                                                    | 194                                                  |
| 20                                          | 368                                                                    | 294                                                  |
| 30                                          | 465                                                                    | 372                                                  |
| 40                                          | 548                                                                    | 439                                                  |
| 50                                          | 611                                                                    | 489                                                  |
| 100                                         | 819                                                                    | 655                                                  |
| 200                                         | 1007                                                                   | 805                                                  |
| 300                                         | 1090                                                                   | 872                                                  |
| 400                                         | 1138                                                                   | 911                                                  |
| 500                                         | 1173                                                                   | 939                                                  |
| 600                                         | 1194                                                                   | 955                                                  |
| 700                                         | 1208                                                                   | 966                                                  |
| 800                                         | 1222                                                                   | 977                                                  |

2. *Obliczenie prognozowanego obciążenia chodnika przyścianowego*

Obciążenie chodnika przyścianowego obliczono zgodnie z metodą GIG [7, 8]. Znając wartości stosunku *z<sub>p</sub>/z<sub>b</sub>*, który przy założonym ograniczeniu zaciskania o 20% wynosi 0,8, potrzebną wartość podporności obudowy chodnika oblicza się ze wzoru (5.1). Otrzymuje się w ten sposób informację, jaka powinna być sumaryczna podporność obudowy chodnika, aby ograniczyć jego zaciskanie do wartości 1000 mm.

Wyniki obliczeń przedstawiono w tablicy 5.3.

Znając podporność obudowy wymaganą dla założonego ograniczenia zaciskania sprawdza się, czy przewidziana do zastosowania w chodniku obudowa łukowa podatna wraz ze stojakami Valent spełni stawiane jej wymagania podpornościowe.

Dla obliczeń podporności obudowy łukowej podatnej oraz stojaków Valent skorzystano z zależności podanych w pracy [51]. Wyniki obliczeń przedstawiono w tablicy 5.4.

**Tablica 5.3. Wyniki obliczeń prognozowanego obciążenia chodnika przyścianowego oraz wymaganej podporności obudowy chodnika**

| Odległość za frontem ściany $d$ , m | Prognozowane obciążenie chodnika $Q$ , MN/m | Obliczona, wymagana podporność obudowy chodnika $P$ , MN/m |
|-------------------------------------|---------------------------------------------|------------------------------------------------------------|
| 6                                   | 0,507                                       | 1,014                                                      |
| 10                                  | 0,527                                       | 1,054                                                      |
| 20                                  | 0,542                                       | 1,084                                                      |
| 30                                  | 0,549                                       | 1,098                                                      |
| 40                                  | 0,554                                       | 1,108                                                      |
| 50                                  | 0,557                                       | 1,114                                                      |
| 100                                 | 0,563                                       | 1,126                                                      |
| 200                                 | 0,567                                       | 1,134                                                      |
| 300                                 | 0,568                                       | 1,136                                                      |
| 400                                 | 0,569                                       | 1,138                                                      |
| 500                                 | 0,569                                       | 1,138                                                      |
| 600                                 | 0,570                                       | 1,140                                                      |
| 700                                 | 0,570                                       | 1,140                                                      |
| 800                                 | 0,570                                       | 1,140                                                      |

**Tablica 5.4. Sumaryczna podporność obudowy łukowej i stojaków Valent oraz wartość brakującej podporności dla ograniczenia zaciskania chodnika**

| Odległość za frontem ściany $d$ , m | Podporność obudowy łukowej, podatnej MN/m | Podporność stojaka Valent, MN/m | Suma podporności obudowy łukowej i stojaka Valent, MN/m | Wymagana podporność obudowy chodnika $P$ , MN/m | Brakująca wartość podporność obudowy dla ograniczenia zaciskania do wartości dopuszczalnej $P$ , MN/m |
|-------------------------------------|-------------------------------------------|---------------------------------|---------------------------------------------------------|-------------------------------------------------|-------------------------------------------------------------------------------------------------------|
| 6                                   | 0,135                                     | 0,102                           | 0,237                                                   | 1,014                                           | 0,777                                                                                                 |
| 10                                  | 0,146                                     | 0,110                           | 0,256                                                   | 1,054                                           | 0,798                                                                                                 |
| 20                                  | 0,172                                     | 0,129                           | 0,301                                                   | 1,084                                           | 0,783                                                                                                 |
| 30                                  | 0,186                                     | 0,139                           | 0,325                                                   | 1,098                                           | 0,773                                                                                                 |
| 40                                  | 0,196                                     | 0,145                           | 0,341                                                   | 1,108                                           | 0,767                                                                                                 |
| 50                                  | 0,199                                     | 0,149                           | 0,348                                                   | 1,114                                           | 0,766                                                                                                 |
| 100                                 | 0,218                                     | 0,160                           | 0,378                                                   | 1,126                                           | 0,748                                                                                                 |
| 200                                 | 0,228                                     | 0,166                           | 0,394                                                   | 1,134                                           | 0,740                                                                                                 |
| 300                                 | 0,232                                     | 0,168                           | 0,400                                                   | 1,136                                           | 0,736                                                                                                 |
| 400                                 | 0,234                                     | 0,169                           | 0,403                                                   | 1,138                                           | 0,735                                                                                                 |
| 500                                 | 0,235                                     | 0,170                           | 0,405                                                   | 1,138                                           | 0,733                                                                                                 |
| 600                                 | 0,236                                     | 0,170                           | 0,406                                                   | 1,140                                           | 0,734                                                                                                 |
| 700                                 | 0,237                                     | 0,171                           | 0,408                                                   | 1,140                                           | 0,732                                                                                                 |
| 800                                 | 0,237                                     | 0,171                           | 0,408                                                   | 1,140                                           | 0,732                                                                                                 |

W tablicy 5.4 przedstawiono również porównanie wartości sumarycznej podporności obudowy łukowej oraz stojaka Valent z podpornością wymaganą do ograniczenia zaciskania chodnika o 20%, w stosunku do zaciskania prognozowanego.

Analizując otrzymane wyniki obliczeń stwierdzono, że przyjęta w założeniu obudowa chodnika w postaci odrzwi obudowy LP/V25/8 oraz stojaków Valent nie będzie w stanie ograniczyć jego zaciskania w stopniu zadowalającym kopalnię. Z tego powodu rozważono zastosowanie w chodniku pasa ochronnego z tworzywa mineralnego.

### 3. Dobór parametrów geometryczno-podpornościowych pasa ochronnego

W celu określenia wymaganej podporności pasa ochronnego najpierw oblicza się podporność dodatkowej obudowy drewnianej, która wykonywana jest zwykle przy budowie pasa ochronnego. Obudowa ta składa się ze stropnic drewnianych podbudowanych stojakami drewnianymi. W celu obliczenia podporności tej obudowy wykorzystano zależności przedstawione w pracy [51]. Przyjęto, że średnica zastosowanych stropnic wyniesie 0,18 m, a średnica stojaków równa będzie 0,2 m, przy wysokości równej wysokości pasa. *Odejmując wartość podporności dodatkowej obudowy drewnianej od wartości podporności wymaganej do ograniczenia zaciskania chodnika (tablica 5.4, kolumna 6), otrzymuje się podporność, jaką powinien mieć przychodnikowy pas ochronny.*

Znając wartość potrzebnej podporności pasa i wykorzystując wzory: (4.3) oraz (4.4) obliczono optymalną jego szerokość. W przykładzie założono wysokość pasa oraz wstępnie, wytrzymałość tworzywa mineralnego. Założenia do obliczeń przedstawiały się następująco:

- wysokość pasa –  $h_{pk} = 2000$  mm,
- określona laboratoryjnie wytrzymałość na ściskanie tworzywa, z którego wykonywany będzie pas –  $R_c = 5$  MPa,
- współczynnik krytycznej deformacji pasa –  $n_{pk} = 0,15$ ,
- współczynnik redukcji –  $w_r = 0,5$ ,
- współczynnik rozpełzania pasa –  $n_{hk} = 0,35$ .

Przyjmując wstępnie trzy szerokości pasa:  $D_{pk} = 1,0$  m, 1,3 m, 1,5 m, obliczono wartość jego podporności. Tok postępowania przy obliczaniu podporności pasa ochronnego z tworzywa mineralnego przedstawiono w rozdziale 4, w przykładzie obliczeniowym. Wyniki obliczeń podporności dodatkowej obudowy drewnianej oraz podporności pasa, przy trzech założonych jego szerokościach, przedstawiono w tablicy 5.5. W odległości 6 m od czoła ściany przyjęto tzw. „punkt zerowy” to znaczy punkt, w którym zaciskanie pasa jeszcze nie wystąpiło, czyli wartość jego podporności wyniosła zero.

Sumaryczną podporność obudowy chodnika, w porównaniu z podpornością wymaganą do ograniczenia zaciskania o 20%, przedstawiono w tablicy 5.6.

**Tablica 5.5. Podporność dodatkowej obudowy drewnianej oraz pasa ochronnego z tworzywa mineralnego**

| Odległość za frontem ściany $d$ , m | Podporność dodatkowej obudowy drewnianej, MN/m | Podporność pasa z tworzywa mineralnego, MN/m |       |       |
|-------------------------------------|------------------------------------------------|----------------------------------------------|-------|-------|
|                                     |                                                | <i>Szerokość pasa <math>D_{pk}</math>, m</i> |       |       |
|                                     |                                                | 1,0                                          | 1,3   | 1,5   |
| 6                                   | 0,007                                          | 0                                            | 0     | 0     |
| 10                                  | 0,038                                          | 0,165                                        | 0,207 | 0,233 |
| 20                                  | 0,082                                          | 0,575                                        | 0,72  | 0,811 |
| 30                                  | 0,061                                          | 0,772                                        | 0,967 | 1,089 |
| 40                                  | 0,05                                           | 0,736                                        | 0,922 | 1,039 |
| 50                                  | 0,045                                          | 0,712                                        | 0,893 | 1,006 |
| 100                                 | 0,034                                          | 0,646                                        | 0,809 | 0,912 |
| 200                                 | 0,028                                          | 0,599                                        | 0,75  | 0,845 |
| 300                                 | 0,026                                          | 0,581                                        | 0,728 | 0,82  |
| 400                                 | 0,025                                          | 0,571                                        | 0,716 | 0,806 |
| 500                                 | 0,025                                          | 0,564                                        | 0,707 | 0,797 |
| 600                                 | 0,024                                          | 0,561                                        | 0,702 | 0,791 |
| 700                                 | 0,024                                          | 0,558                                        | 0,699 | 0,788 |
| 800                                 | 0,024                                          | 0,555                                        | 0,696 | 0,784 |

**Tablica 5.6. Sumaryczna podporność obudowy chodnika w przypadku zastosowania pasa ochronnego**

| Odległość za<br>frontem<br>ściany<br>$d$ , m | Suma podporność obudowy chodnika z pasem<br>mineralnym, MN/m |       |       | Wymagana podporność<br>obudowy chodnika dla<br>ograniczenia zaciskania<br>$P$ , MN/m |
|----------------------------------------------|--------------------------------------------------------------|-------|-------|--------------------------------------------------------------------------------------|
|                                              | Szerokość pasa $D_{pk}$ , m                                  |       |       |                                                                                      |
|                                              | 1,0                                                          | 1,3   | 1,5   |                                                                                      |
| 6                                            | 0,244                                                        | 0,244 | 0,244 | 1,014                                                                                |
| 10                                           | 0,459                                                        | 0,501 | 0,527 | 1,054                                                                                |
| 20                                           | 0,958                                                        | 1,103 | 1,194 | 1,084                                                                                |
| 30                                           | 1,158                                                        | 1,353 | 1,475 | 1,098                                                                                |
| 40                                           | 1,127                                                        | 1,313 | 1,430 | 1,108                                                                                |
| 50                                           | 1,105                                                        | 1,286 | 1,399 | 1,114                                                                                |
| 100                                          | 1,058                                                        | 1,221 | 1,324 | 1,126                                                                                |
| 200                                          | 1,021                                                        | 1,172 | 1,267 | 1,134                                                                                |
| 300                                          | 1,007                                                        | 1,154 | 1,246 | 1,136                                                                                |
| 400                                          | 0,999                                                        | 1,144 | 1,234 | 1,138                                                                                |
| 500                                          | 0,994                                                        | 1,137 | 1,227 | 1,138                                                                                |
| 600                                          | 0,991                                                        | 1,132 | 1,221 | 1,140                                                                                |
| 700                                          | 0,990                                                        | 1,131 | 1,220 | 1,140                                                                                |
| 800                                          | 0,987                                                        | 1,128 | 1,216 | 1,140                                                                                |

Analizując wyniki obliczeń zawarte w tablicy 5.6 stwierdzić można, że w rozpatrywanym przykładzie obliczeniowym, ograniczenie zaciskania chodnika przyscianowego o założoną na początku wartość 20%, w stosunku do zaciskania prognozowanego, możliwe jest w przypadku zastosowania pasa ochronnego z tworzywa mineralnego, którego szerokość wyniesie 1,3 m lub 1,5 m. Tylko w takich bowiem przypadkach sumaryczna podporność obudowy będzie większa bądź zbliżona do obliczonej wcześniej, wymaganej podporności.

W celu dokonania wyboru optymalnej szerokości pasa obliczono stosunki sumarycznej podporności obudowy chodnikowej z pasami o szerokościach 1,3 m i 1,5 m do podporności wymaganej. *Przyjęto jednocześnie kryterium, że optymalna szerokość pasa będzie taka, przy której wartość stosunku podporności obudowy do podporności wymaganej będzie bliska 1, nie większa jednak od 1,1. Przy wartościach wyższych, gabaryty pasa byłyby niepotrzebnie zbyt duże, co zwiększałoby koszty jego wykonania.* Wyniki przedstawia tablica 5.7.

**Tablica 5.7. Stosunek sumarycznych podporności obudowy chodnika z pasami o szerokości 1,3 m i 1,5 m do wartości podporności wymaganej dla ograniczenia zaciskania**

| Odległość za frontem ściany $d$ , m | Stosunki sumarycznych podporności obudowy z pasami ochronnymi do podporności wymaganej dla ograniczenia zaciskania |     |
|-------------------------------------|--------------------------------------------------------------------------------------------------------------------|-----|
|                                     | Szerokość pasa $D_{pk}$ , m                                                                                        |     |
|                                     | 1,3                                                                                                                | 1,5 |
| 6                                   | 0,2                                                                                                                | 0,2 |
| 10                                  | 0,5                                                                                                                | 0,5 |
| 20                                  | 1,0                                                                                                                | 1,1 |
| 30                                  | 1,2                                                                                                                | 1,3 |
| 40                                  | 1,2                                                                                                                | 1,3 |
| 50                                  | 1,2                                                                                                                | 1,3 |
| 100                                 | 1,1                                                                                                                | 1,2 |
| 200                                 | 1,0                                                                                                                | 1,1 |
| 300                                 | 1,0                                                                                                                | 1,1 |
| 400                                 | 1,0                                                                                                                | 1,1 |
| 500                                 | 1,0                                                                                                                | 1,1 |
| 600                                 | 1,0                                                                                                                | 1,1 |
| 700                                 | 1,0                                                                                                                | 1,1 |
| 800                                 | 1,0                                                                                                                | 1,1 |

Jak już wspomniano, ograniczenie zaciskania chodnika o 20% uzyskać będzie można w przypadku wykonywania pasa mineralnego o szerokości 1,3 lub 1,5 m. Wyniki przedstawione w tablicy 5.7 pozwalają, zgodnie z wcześniej przyjętym kryterium uznać, że *optymalna szerokość pasa ochronnego wynosić powinna 1,3 m.* Przy tej bowiem szerokości, w większości przypadków, stosunek podporności

obudowy do podporności wymaganej jest równy, bądź zbliżony do wartości 1. Średnia arytmetyczna stosunków podporności obudowy do podporności wymaganej, w przypadku stosowania pasa o szerokości 1,3 m wynosi 1, a w przypadku pasa o szerokości 1,5 m – wynosi 1,1.

Analizując uzyskane wyniki obliczeń zauważyć można także, że w odległości do 10 m za czołem ściany, podporność obudowy chodnika jest mniejsza od podporności wymaganej do ograniczenia jego zaciskania. Wynika to z faktu, że w odległości tej pasy ochronne nie osiągają jeszcze pełnych walorów podpornościowych. Należy przyjąć więc, że w odległości do 10 m za czołem ściany wystąpi zaciskanie równe zaciskaniu prognozowanemu.

Nasuwa się więc wniosek, że istotny wpływ pasów ochronnych na ograniczenie ruchów górotworu rozpoczyna się w odległościach większych od około 10 m od czoła ściany, gdyż w odległościach mniejszych pas ochronny nie ma jeszcze dostatecznego kontaktu ze stropem. W miarę oddalania się od czoła ściany wzrasta wartość zaciskania pasa, uzyskuje on pełne rozparcie i osiąga optymalne parametry podpornościowe.

Przedstawiony przykład obliczeniowy obrazuje, w jakim stopniu pasy ochronne o różnych wymiarach wpływają na ograniczenie ruchów górotworu w chodniku przyscianowym. Nadmienić należy, że znając wartość wymaganej, dla założonego ograniczenia zaciskania, podporności obudowy możliwa jest optymalizacja parametrów danego pasa ochronnego. Optymalizacja polegać może na dobraniu odpowiednich wymiarów pasa lub rodzaju materiału z jakiego będzie on wykonywany. Dobierając optymalne wymiary pasa większe możliwości mamy zmieniając jego szerokość. Wysokość pasa jest bowiem uzależniona od wysokości prowadzonej ściany. Zwykle pas ma wysokość nieco mniejszą lub równą wysokości wybierania. Z uwagi na stabilność pasa, powinien być zachowywany ponadto warunek, że wartość stosunku szerokości do wysokości pasa nie będzie mniejsza od 0,7.

## 6. PODSUMOWANIE

Chodniki przyscianowe spośród wszystkich wyrobisk korytarzowych w największym stopniu narażone są na wzmożone zaciskanie, głównie z uwagi na oddziaływanie frontu eksploatacji. Kopalnie podejmujące próby utrzymania tych wyrobisk za frontem ściany stosują zwykle różnego typu wzmocnienia obudowy chodnikowej dodatkowymi elementami podporowymi, między innymi w postaci pasów ochronnych. Najczęściej są to pasy ze stosów drewnianych wypełniane lub nie skalą płonną, względnie pasy podsadzkowe wykonywane z różnego typu tworzyw mineralnych. Zarówno wykonywanie pasów ze stosów drewnianych, wymagające dużej pracochłonności, jak również pasów mineralnych, w których stosowane są drogie tworzywa, wiąże się z dość wysokimi kosztami.

W niniejszej publikacji przedstawiono zależności empiryczne, wyznaczone na podstawie wyników pomiarów dołowych, prowadzonych w ostatnich latach,

pozwalające na obliczanie podporności różnych typów pasów ochronnych, stosowanych w chodnikach przyścianowych. Wykazano, że podporność tych pasów zależy od wielu czynników, z których do podstawowych zaliczyć należy: wielkość zaciskania pasów, ich wymiary oraz rodzaj materiału z jakiego są wykonywane.

Ponadto, określono zależność pomiędzy: zaciskaniem chodnika, obciążeniem górotworu oraz podpornością obudowy. Korzystając z tej zależności oraz ze wzorów do obliczania podporności pasów ochronnych możliwa jest ocena wpływu danego typu pasa na wartość zaciskania chodnika przyścianowego w danych warunkach geologiczno-górnictwowych. Znając wpływ danego pasa ochronnego na zaciskanie chodnika możliwe jest, na etapie projektowania obudowy tego wyrobiska, podjęcie decyzji odnośnie do jego stosowania, względnie wybór innego typu pasa ochronnego o odpowiedniej dla danych warunków podporności.

## LITERATURA

1. *Andrusikiewicz W.*: Optymalizacja parametrów anhydrytowego pasa ochronnego przy wybieraniu węgla systemem ścianowym. Kraków, AGH 1993 (Praca doktorska).
2. *Andrusikiewicz W.*: Pas anhydrytowy jako skuteczny sposób ochrony wyrobiska przyścianowego na tle innych metod. Przegląd Górniczy 1994 nr 12.
3. *Andrusikiewicz W., Mazurkiewicz M.*: Ochrona wyrobiska przyścianowego anhydrytowym pasem podsadzkowym – propozycja metody określania jego szerokości. Zeszyty Naukowe Politechniki Śląskiej, seria Górnictwo 1994 z. 221.
4. *Biliński A.*: Zależność wielkości zaciskania wyrobiska w ścianach zawałowych od warunków techniczno-górnictwowych. Komunikat GIG nr 329, 1963.
5. *Biliński A.*: Przejawy ciśnienia górotworu w polach eksploatacji ścianowej w pokładach węgla. Zeszyty Naukowe Politechniki Śląskiej, seria Górnictwo 1968 z. 221.
6. *Biliński A.*: Wpływ podporności obudowy na ruchy górotworu w chodnikach przyścianowych przy eksploatacji na zawał. Prace Naukowe GIG nr 773, 1992.
7. *Biliński A.*: Geomechaniczny monitoring zmechanizowanych ścian zlokalizowanych na dużych głębokościach. Prace Naukowe GIG 1996 nr 812.
8. *Biliński A., Kostyk T.*: Obciążenie obudowy wyrobisk w chodnikach przyścianowych. Przegląd Górniczy 1994 nr 6.
9. *Biliński A.*: Wyniki badań ruchów górotworu w polach eksploatacji ścianowej. Prace GIG, seria dodatkowa, Katowice 1989.
10. *Biliński A.*: Prace zebrane (w druku).
11. *Biliński A.*: Wysokość strefy zawału przy eksploatacji z zawałem stropu. Biuletyn GIG 1954 nr 4.
12. *Borycz J., Majchrzak R.*: Zastosowanie pasa podsadzkowego do ochrony chodnika przyścianowego z wykorzystaniem instalacji transportu pneumatycznego systemu „Polko” w warunkach geologiczno-górnictwowych kopalni Piast. Przegląd Górniczy 1995 nr 6.
13. *Breer W., Götte W.*: Saumversatz im bundesdeutschen Steinkohlenbergbau. Glückauf 1973 Nr 26.
14. *Brinkmann E., Neveling F.*: Belastungsversuche mit Holzkästen und Holzpfählen. Glückauf 1964 h. 7.

15. *Chrostek J., Kraus A.*: Doświadczenia KWK Katowice-Kleofas wynikające ze stosowania spoiwa Tekblend dla wykonywania pasów podpornościowych. Konferencja naukowo-techniczna pt: Sposoby i środki poprawy stanu utrzymania chodników przyścianowych, zagrożonych tapaniami przy uwzględnieniu dużej koncentracji wydobywania. Katowice, GIG 1999.
16. *Chudek M.*: Wpływ głębokości na stan deformacyjno- naprężeniowy w otoczeniu wyrobisk górniczych. Przegląd Górniczy 1983 nr 5.
17. *Chudek M., Pach A., Garncarz R., Skudlik G.*: Badania nad określeniem kryteriów doboru stosów drewnianych, wykonywanych z drewna tartego. Zeszyty Naukowe Politechniki Śląskiej, seria Górnictwo 1975 z.68.
18. *Chudek M., Pach A., Żukian B., Skudlik G., Garncarz R.*: Prognoza zaciskania chodników przyścianowych. Zeszyty Naukowe Politechniki Śląskiej, seria Górnictwo, 1987 z.157.
19. *Chudek M., Pach A., Skudlik G., Garncarz R., Szutkowski I.*: Wyniki niektórych badań dołowych nad opracowaniem podstaw analitycznych projektowania wyrobisk przygotowawczych w aspekcie uzyskania optymalnych warunków ich utrzymania. Metody i środki eksploatacji na dużych głębokościach. Gliwice, Politechnika Śląska 1982.
20. *Chudek M., Pach A., Skudlik G., Garncarz R., Szutkowski I.*: „Badania modelowe w zakresie utrzymania chodników przyścianowych objętych wpływami eksploatacji górniczej” Metody i środki eksploatacji na dużych głębokościach. Politechnika Śląska, Gliwice 1982.
21. *Chudek M.*: Obudowa wyrobisk górniczych. Katowice „Śląsk” 1987.
22. *Chudek M., Janiczek S., Majchrzak R., Madaj M., Klimas W.*: Spoiwa anhydrytowe ziarniste do wykonywania pasów podsadzkowych w chodnikach przyścianowych ścian zawałowych. Przegląd Górniczy 1988 nr 4.
23. *Chudek M., Janiczek S., Majchrzak R., Madaj M., Klimas W.*: Zastosowanie technologii spoiw anhydrytowych do wypełniania pustek po wyrzutach gazów i skał. Zeszyty Naukowe Politechniki Śląskiej, seria Górnictwo 1987 z.157.
24. *Geffroy H.*: Vergleich der verschiedenen Begleitedämme in einer Abbaustrecke. Glückauf 1972 Nr 22.
25. *Homa D., Klucznik B., Madaj M., Ziętek T.*: Zastosowanie anhydrytowego pasa podsadzkowego do ochrony chodników przyścianowych i uszczelniania zrobów w KWK Moszczenica. Wiadomości Górnicze 1984 nr 9.
26. *Kabiesz J., Konopko W.*: Deformacje chodnika przyścianowego przed postępującym frontem ściany. Prace naukowe Instytutu Geotechniki i Hydrotechniki Politechniki Wrocławskiej 1995.
27. *Kammer W., Schroer D., Ingenabel K.*: Geringe Konvergenz durch einen Streckenbegleitedamm aus Anhydrit. Glückauf 1972 Nr 21.
28. *Kammer W.*: Grösserer Nutzquerschnitt durch starre Streckenbegleitedämme. Glückauf 1972 Nr 22.
29. *Konopko W., Kostyk T.*: O możliwości likwidacji przychodnikowych pasów podsadzkowych. Biuletyn GIG 1974 nr 1.
30. *Kostyk T.*: Empiryczne podstawy doboru obudowy skrzyżowań ścian zawałowych z chodnikami. Katowice, GIG 1990 Praca doktorska.
31. *Kostyk T., Prusek S.*: Sposób ochrony chodników eksploatacyjnych z wykorzystaniem spoiwa Tekblend. Bezpieczeństwo Pracy i Ochrona Środowiska w Górnictwie 1997 nr 4.
32. *Kostyk T. i inni*: Określenie ruchów górotworu i obciążeń występujących w chodnikach eksploatacyjnych w zależności od warunków naturalnych i górniczych. Dokumentacja o symbolu 2020316BG. Katowice, GIG 1996 (niepublikowana).

33. *Kostyk T. i inni*: Modyfikacja metody doboru obudowy wyrobisk przyścianowych dla ścian zawałowych. Dokumentacja o symbolu 11201017-150. Katowice, GIG 1997 (niepublikowana).
34. *Król R., Madaj M.*: Mineralne spoiwa górnicze Utex-1, Utex-5, Utex-15. Budownictwo Górnicze i Tunelowe 1996 nr 1.
35. *Lange G., Rauss B., Garte R.*: Erfahrungen mit Streckenbegleittämmen aus Blitzdämmer. Glückauf 1971 Nr 13.
36. *Madaj M., Piontek P.*: Wczesnopodporowe mineralne spoiwo górnicze Utex-50. IV Szkoła Geomechaniki. Gliwice, Politechnika Śląska 1999.
37. *Madaj M., Majchrzak R., Klimas W.*: Gospodarcze wykorzystanie popiołów lotnych w kopalniach węgla kamiennego. III Szkoła Geomechaniki. Gliwice, Politechnika Śląska 1997.
38. *Madaj M., Jeziorny L.*: Ochrona chodników przyścianowych wysokich ścian zawałowych na przykładzie kopalni Warndt/Luisenthal. VII Międzynarodowe Sympozjum, Geotechnika 96. Gliwice, Politechnika Śląska 1996.
39. *Matuszewski K., Trenczek S.*: Środki mineralne do uszczelniania i wypełniania pustek w górotworze w kopalniach węgla kamiennego. Wiadomości Górnicze 1997 nr 11.
40. *Matuszewski K., Trenczek S.*: Wybrane środki mineralne i chemiczne wraz z urządzeniami stosowane w profilaktyce pożarowej, metanowej i klimatycznej w kopalniach węgla kamiennego. Bezpieczeństwo Pracy i Ochrona Środowiska w Górnictwie 1998 nr 12.
41. *Matuszewski K., Trenczek S.*: Stosowanie nowych środków mineralnych i chemicznych w profilaktyce górniczej. Bezpieczeństwo Pracy i Ochrona Środowiska w Górnictwie 1999 nr 11.
42. *Mazgaj T., Stacha G., Prusek S.*: Zastosowanie spoiw mineralnych typu Tekblend lub Teksil do utrzymania chodników za frontami ścian w KHW S.A. KWK Śląsk. Konferencja naukowo-techniczna pt: Sposoby i środki poprawy stanu utrzymania chodników przyścianowych, zagrożonych tapaniami przy uwzględnieniu dużej koncentracji wydobywania. Katowice, GIG 1999.
43. *Niechciał T., Żukiewicz E.*: Wyniki prac wdrożeniowych nad zastosowaniem przychodnikowych pasów podsadzkowych z anhydrytu w kopalni Ziemowit. Wiadomości Górnicze 1974 nr 6.
44. *Postawa J., Mazurkiewicz M.*: Możliwość zastosowania podsadzki anhydrytowej dla wyrobisk górniczych. Zeszyty Naukowe AGH, seria Górnictwo, 1976 z.74.
45. *Prusek S.*: Pomiary zaciskania, rozwarstwienia skał stropowych oraz obciążenia pasa ochronnego w chodnikach przyścianowych. Materiały konferencyjne - XXI Zimowa Szkoła Mechaniki Górotworu. Kraków, AGH 1998.
46. *Prusek S.*: Pomiary dołowe w chodnikach przyścianowych ścian zawałowych. Materiały konferencyjne - XXII Zimowa Szkoła Mechaniki Górotworu. Wrocław, Politechnika Wrocławska 1999.
47. *Prusek S.*: Określenie wpływu frontu eksploatacji na ruchy górotworu, obciążenie i deformację obudowy, w chodnikach przyścianowych. Projekt badawczy własny, nr projektu 9T12A03215, 1999.
48. *Prusek S. i inni*: Analiza zjawisk zachodzących w chodnikach przyścianowych, utrzymywanych za frontem eksploatacji zawałowej". Dokumentacja o symbolu 13103008-150. Katowice, GIG 1998 (niepublikowana).
49. *Prusek S., Rajwa S.*: Wyniki pomiarów z chodników przyścianowych, utrzymywanych za frontem eksploatacji. Prace GIG, seria Konferencje nr 31, 1999.

50. *Prusek S.*: Wybrane wyniki pomiarów dołowych w chodnikach przyścianowych. Przegląd Górniczy 1999 nr 11.
51. *Prusek S.*: Wpływ pasów ochronnych na utrzymanie chodników przyścianowych w polach eksploatacji zawałowej. Katowice, GIG 2000 (Praca doktorska).
52. *Rajwa S.*: Określenie ruchów górotworu i obciążeń występujących w chodniku eksploatacyjnym na dużej głębokości. Projekt badawczy własny, nr projektu 9T12A02714, 1998.
53. *Rulka K.*: Obudowa stalowo-betonowa wyrobisk korytarzowych i komorowych. Katowice, Wydawnictwo „Śląsk” 1972.
54. *Smolka J., Rapacz P.*: Utrzymanie chodnika międzyścianowego oraz rozwarstwienia skotwionego stropu w warunkach wstrząsów górotworu w KWK Mysłowice. Prace GIG, seria Konferencje nr 1, 1995.
55. *Zorychta A., Surma A., Stasica J.*: Wpływ przemieszczającego się frontu eksploatacyjnego na kształtowanie się przemieszczeń stropu w wyrobiskach prowadzonych w samodzielnej obudowie kotwiowej. Bezpieczeństwo Pracy i Ochrona Środowiska w Górnictwie 1998 nr 10.

II. 70012



**GŁÓWNY INSTYTUT GÓRNICTWA**  
**Plac Gwarków 1, 40-166 KATOWICE**

Tel. (0-32) 258-16-31 ÷ 9; Telex: 0312359 gig pl, 0313713 mg pl,  
fax: (0-32) 259-65-33 e-mail: [gig@gig.katowice.pl](mailto:gig@gig.katowice.pl)