ZESZYTY NAUKOWE POLITECHNIKI ŚLĄSKIEJ 1972

Seria: GÓRNICTWO z. 49 Nr kol.314

Mgr inż. Rudolf Makiołka
Mgr inż. Norbert Wypchol

DOBÓR PRZEKŁADEK ELASTYCZNYCH UPODATNIAJĄCYCH PREFABRYKOWANĄ ŻELBETOWĄ OBUDOWĘ GÓRNICZĄ

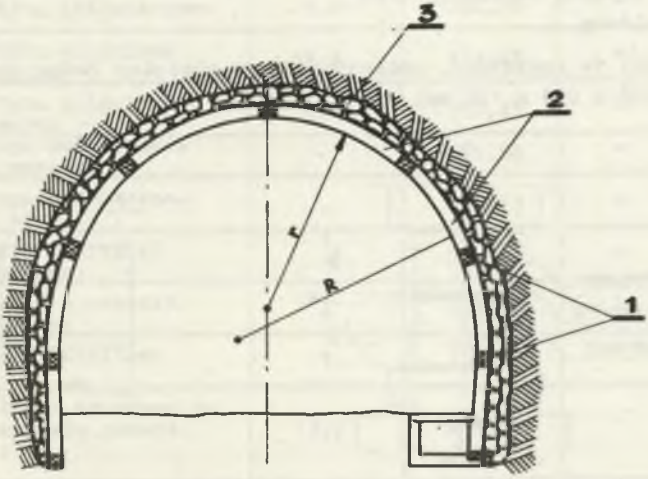
Streszczenie. Zasadnicze znaczenie dla współpracy prefabrykowanych żelbetowych elementów obudowy górniczej posiadają wkładki elastyczne upodatniające. W praktyce stosuje się wiele rozwiązań zarówno konstrukcyjnych jak i materiałowych.

Przeprowadzone przez autorów kompleksowe badania laboratoryjne i modelowe, których wyniki omówiono w niniejszej publikacji pozwoliły na wytypowanie najkorzystniejszych rozwiązań na obecnym etapie oraz wskazanie kierunków poszukiwań na przyszłość.

1. Wstęp

W obudowach wyrobisk korytarzowych rozróżnić można z punktu widzenia pracy statycznej konstrukcji dwa zasadnicze typy:

- obudowę ciągłą, w której poszczególne odcinki wyodrębnione kolejnymi przekrojami poprzecznymi pracują jako elementy łukowe, oraz
- obudowę odrzwiami, w której zasadniczymi elementami nośnymi są odrzwia łukowe lub prostokątne, a obciążenie na nie przekazywane jest za pośrednictwem elementów drugorzędnych.



Rys. 1. Schemat obudowy ciągłej w układzie otwartym z wkładkami uelastyczniającymi

1 - wkładka uelastyczniająca, 2 - prefabrykowany element żelbetowy, 3 - wykładka kamienna

Dokonując analizy porównawczej powyższych typów obudowy można stwierdzić, że obudowa ciągła jest bardziej ekonomiczna. Wynika to ze znanego faktu, iż ustroje bezpośrednio obciążone, w których nie występują elementy drugorzędne skonstruować można przy mniejszym zużyciu materiałów. o

Zasadniczym czynnikiem ograniczającym stosowanie w praktyce obudowy ciągłej jest jej niepodatność.

W związku z powyższym podjęto w ZBiD Budownictwa Górniczego prace projektowo-badawcze mające na celu opracowanie podatnej obudowy ciągłej.

Schemat proponowanej obudowy przedstawiono na rys. 1.

Podatność tej obudowy zapewniającej przekładki elastyczne oddzielające poszczególne odcinki łuku. Wielkość odkształceń obudowy uwarunkowana jest charakterystyką zastosowanych przekładek elastycznych oraz ich sumaryczną grubością.

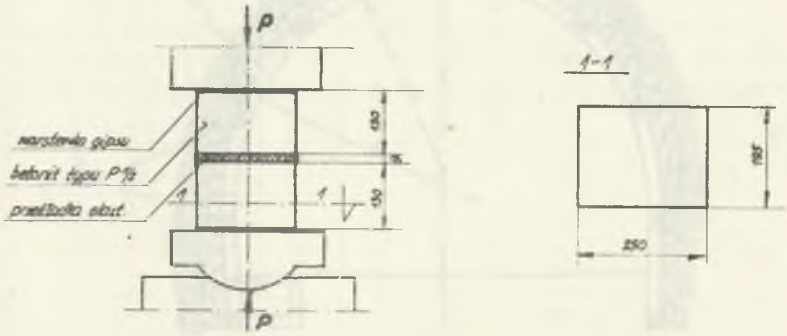
Pierwszy etap prac badawczych obejmował dobór optymalnych przekładek elastycznych oraz określenie ich charakterystyki odkształceń.

2. Wytypowanie optymalnych przekładek elastycznych

Badaniom poddano następujące rodzaje przekładek elastycznych:

- drewno,
- sklejkę drewnianą,
- płyty paździerzowe,
- płyty pilśniowe miękkie,
- płyty pilśniowe twarde,
- papę asfaltową,
- matę z przędzy szklanej,
- welony z przędzy szklanej, oraz
- watę bazaltową.

Przekładki te zgniatano, umieszczając je pomiędzy dwoma betonitami o wymiarach 190 x 250 x 130 mm.



Rys. 2. Schemat stanowiska badawczego do określania parametrów przekładek pojedynczych

W celu zapewnienia równoległości płaszczyzn docisku, wyrównywano zewnętrzne płaszczyzny betonitów cienką warstewką gipsu modelowego. Badania przeprowadzono na 150 tonowej prasie typu WK-1. Schemat badania przedstawiono na rysunku 2.

Ściśliwość przekładek określono mierząc ich grubość z dokładnością do 0,1 mm przy następujących poziomach obciążeń: 0, 10, 50, 100 i 150 atn, co odpowiada sile nacisku: 0, 5600, 30 000, 60 500 i 91 100 kG.

Dla każdego typu przekładek badania przeprowadzono trzykrotnie. Dla celów porównawczych przebadano "słupki" wykonane z identycznych betonitów z tym, że połączonych ze sobą zaprawą cementową o stosunku c: p = 1 : 3. Jako spoiwa użyto cement portlandzki "350".

Wytrzymałość betonitów użytych do badań określono na sześciu kostkach o nominalnych wymiarach 130 x 130 x 130 mm. Kostki te wycięto z losowo pobranych betonitów 13/13/13. Średnia wytrzymałość betonu wyniosła R_k = 282,5 kG/cm^2.

Tablica 1

Lp.	Typ przekładki	Grubość wyjściowa przekładki	Średnia wytrzymałość słupków	Wytrzym. kostkowa betonitów	Obniżenie wytrzym. w stos. do słupków wykon. na zaprawie cem.
		mm	kG/cm^2	kg/cm^2	%
1	Drewno sosnowe	23,5	284,30	282,5	- 4,4
2	Sklejka drewniana	9,4	287,76	"	- 3,2
3	Płyta paździerzowa	9,0	282,94	"	- 4,9
4	Płyta pilśniowa miękka	12,4	274,43	"	- 7,7
5	Płyta pilśniowa twarda	4,8	270,47	"	- 9,0
6	Papa asfaltowa-- 2 warstw.	-	175,88	"	- 40,8
7	Papa asfaltowaa- 6 warstw.	-	216,10	"	- 27,4
8	Mata z przędzy szklanej	-	204,21	"	- 31,3
9	Welon z przędzy szklanej	-	188,38	"	- 38,6
10	Wata bazaltowa	-	195,07	"	- 34,4
11	Słupki wykonane na zaprawie cement. 1:3	10,0	297,40	"	-

Jako podstawowe kryterium oceny przydatności poszczególnych typów przekładek elastycznych przyjęto wytrzymałość "słupka" utworzonego z dwóch betonitów przedzielonych przekładką. Średnie wartości wytrzymałości "słupków" zestawiono w tablicy 1.

Analizując powyższe wyniki można wyodrębnić dwie grupy przekładek elastycznych, a mianowicie:

- przekładki powodujące istotne obniżenie wytrzymałości słupków w stosunku do słupków wykonanych na zaprawie cementowej, oraz
- przekładki nie powodujące obniżenia tej wartości.

Do pierwszej grupy, w której zaniżenie wytrzymałości zawierało się w granicach 27,4 + 30,8% zaliczyć można:

- papę asfaltową,
- welon z waty szklanej,
- watę bazaltową,
- matę z przędzy szklanej,

Natomiast druga grupa o zaniżeniu nie przekraczającym 9% obejmuje:

- drewno,
- sklejkę drewnianą,
- płyty paździerzowe,
- płyty pilśniowe miękkie, oraz
- płyty pilśniowe twarde.

Niska wytrzymałość słupków, w których zastosowano przekładki pierwszej grupy wynika z niedostatecznej elastyczności przekładek i ze zbyt małej grubości, co w konsekwencji prowadzi do nierównomiernego przekazywania obciążeń z jednego betonitu na drugi, a tym samym do szybszego zniszczenia słupków. Szczególnie wyraźnie zaobserwować można wpływ grubości przekładek porównując wytrzymałość słupków wykonanych przy użyciu 2 i 6 - 5 cm warstw papy, gdzie zwiększenie grubości przekładki pociągnęło za sobą wzrost wytrzymałości słupków o 23%.

Niska wytrzymałość słupków wykonanych przy zastosowaniu przekładek grupy pierwszej, ich nietrwałość (wszystkie przekładki z włókien mineralnych uległy zmiażdżeniu na mączkę przy obciążeniu rzędu 100 kG/cm^2), oraz trudność w układaniu zadecydowały o wyeliminowaniu ich z dalszych badań,a tym samym negują możliwość ich stosowania.

Wartość jednostkowych odkształceń przekładek grupy drugiej zestawiono w tablicy 2.

W przedziale obciążeń eksploatacyjnych (0 - 100 kG/cm^2) największą ściśliwość wykazuje płyta pilśniowa miękka 50%, dlaej drewno sosnowe 40%, sklejka drewniana 21%, najniższą zaś posiadają płyty paździerzowe i pilśniowe twarde.

Tablica 2

Lp.	Typ przekładki	Odkształcenia jednostkowe przy nacisku		
		63,2 kG/cm^2	127,3 kG/cm^2	192,0 kG/cm^2
1	Drewno sosnowe	30,20%	49,20%	55,04%
2	Sklejka drewniana	13,91%	26,02%	47,74%
3	Płyta paździerzowa	8,46%	20,86%	30,78%
4	Płyta pilśniowa miękka	49,40%	56,50%	60,00%
5	Płyta pilśniowa twarda	8,95%	8,95%	10,42%

Uwzględniając wyniki badań wytrzymałościowych oraz ściśliwości wytypowano do dalszych badań następujące przekładki elastyczne.

- drewno, oraz
- płyty pilśniowe miękkie.

3. Sprawdzenie pracy przekładek elastycznych w konstrukcji

W celu sprawdzenia pracy statycznej konstrukcji wykonanej przy użyciu przekładek elastycznych przeprowadzono badania wytrzymałości słupów wykonanych z betonitów typu P1 oraz odcinka łuku wykonanego z betonitów szybowych.

4.1. Badania słupów

Elementy próbne stanowiły słupy wykonane z betonitów marki "200/ o wymiarach 250 x 380 x 130 mm pomiędzy które umieszczono przekładki elastyczne.

Przy użyciu przekładek z płyt ipilśniowych miękkich przebadano słupy wykonane z dwóch, trzech, czterech i pięciu betonitów powtarzając badania dla każdego typu 5 krotnie.

Dodatkowo przeprowadzono badania słupów wykonanych z 2 i 4 betonitów przy użyciu przekładek drewnianych grubości 23,5 mm z drewna sosnowego.

Badania przeprowadzono na 500-tonowej prasie typu "Asmlera".

Srednie wartości wytrzymałości zestawiono w tablicy 3.

Analizując wyniki przedstawione w tablicy 3 stwierdzić można brak istotnego wpływu ilości betonitów w słupku na jego wytrzymałość.

Tablica 3

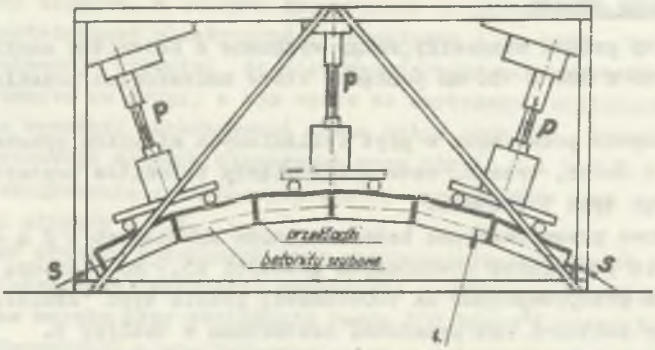
Lp.	Typ przekładki	Ilość betonitów w słupku	Ilość ciał próbnych	Średnia wytrzymałość słupków
		szt	szt	kG/cm^2
1	Płyta pilśniowa miękka	2	5	115,0
2	jw.	3	5	160,3
3	jw.	4	5	110,6
4	jw.	5	5	102,2
5	Drewno sosnowe 23,5 mm	2	3	139,2
6	jw.	4	3	113,6

3.2. Badanie wycinka łuku

Badaniom poddano łuk wykonany z sześciu betonitów szybowych marki"250" o wymiarach 200 x 337/377 x 140 mm, układanych przy użyciu przekładek z płyt pilśniowych miękkich i przekładek drewnianych o grubości 40 mm z drewna sosnowego.

Badania przeprowadzono w stendzie wyposażonym w trzy dźwigniki hydrauliczne o udźwigu 15 ton każdy.

Schemat stanowiska pomiarowego przedstawiono na rys. 3.



Rys. 3. Schemat stanowiska badawczego do określania parametrów ustroju przestrzennego

Nośność łuku wykonanego przy użyciu płyt pilśniowych wynosiła P = 3750 kG co odpowiada sile ociosowej w łuku

$$S = \frac{P}{3 \cdot r_n} \cdot r \cdot b = \frac{3750}{2 \cdot 496,5} \cdot 235 \cdot 14 = 12400 \text{ kG}$$

gdzie:

F_n - powierzchnia nacisku w osi łuku jednego dźwignika

r - promień łuku

b - szerokość łuku

i naprężeniom w łuku

$$\sigma = \frac{S}{b \cdot h} = \frac{12400}{20 \cdot 14} = 44{,}24 \text{ kG/cm}^2$$

Zniszczenie łuku nastąpiło w wyniku rozwarcia w kluczu.

Nośność łuku wykonanego przy użyciu przekładek drewnianych wynosiła P= 2900 kG co odpowiada sile osiowej

$$S = \frac{2900}{2 \cdot 496{,}5} \cdot 235 \cdot 14 = 9600 \text{ kG}$$

i naprężeniom w łuku

$$\sigma = \frac{9600}{20 \cdot 14} = 34{,}3 \text{ kG/cm}^2$$

Zniszczenie łuku nastąpiło wskutek wyboczenia.

Zaobserwowane w trakcie badań znaczne rozwarcie styków pomiędzy betonitami szczytowymi spowodowane zostało zarówno znaczną podatnością przekładek z płyt pilśniowych jak również nieprzesuwnością węzgłowi łuku. W praktyce przy wykonywaniu obudowy korytarzowej typu kołowego zjawisko rozwarcia spoin nie powinno mieć miejsca z uwagi na deformacje całego koła.

Wyboczenie łuku zaistniałe w drugiej próbie w następstwie nierównoległości płaszczyzn docisku betonitów nie ma praktycznego znaczenia w obudowie korytarzowej, gdzie sąsiednie segmenty uniemożliwiają to wyboczenie.

Na podstawie tej części badań stwierdzić można, że spośród badanych przekładek elastycznych praktyczne zastosowanie znaleźć może jedynie drewno.

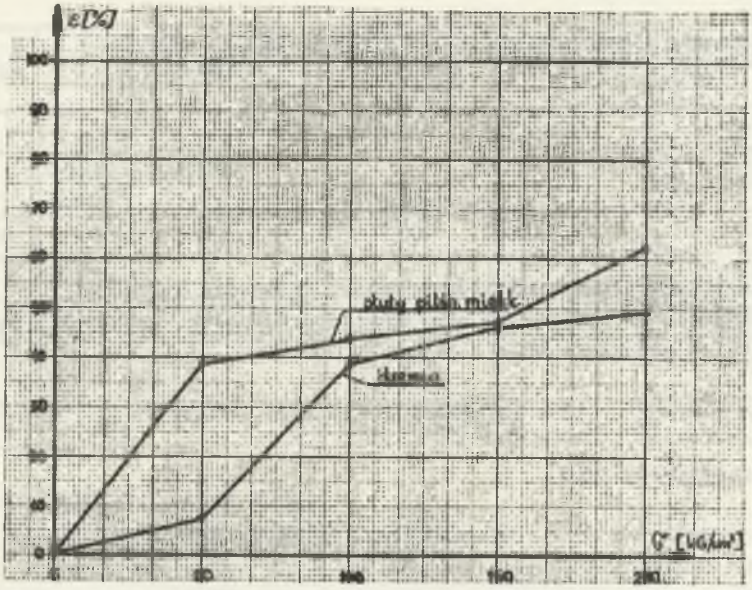
Za wyeliminowaniem z rozważań przekładek z płyt pilśniowych miękkich przemawia ich znaczna ściśliwość przy niskich naciskach, prowadząca do przedwczesnych deformacji konstrukcji. W przeciwieństwie do płyt pilśniowych drewno charakteryzuje się bardziej proporcjonalnymi odkształceniami do wywieranego nacisku.

Na rys. 4 przedstawiono diagramy $\sigma \cdot \varepsilon$ dla rozważanych materiałów.

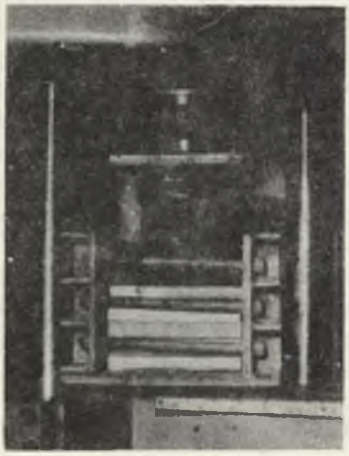
4. Badania nad wpływem grubości i ukierunkowania włókien przekładek drewnianych na ich odkształcalność

Badaniom poddano następujące rodzaje drewnianych przekładek elastyczność:

- deski grubości 25 mm,
- deski grubości 32 mm,



Rys. 4. Diagram $\varepsilon = f(\sigma)$ dla przekładek z płyt pilśniowych i drewna



Rys. 5. Widok ciała próbnego przed ściskaniem

- krawędziaki 80 x 100 mm, oraz
- krawędziaki 100 x 100 mm.

Badania przeprowadzono na 50 tonowej prasie uniwersalnej WP-50,umieszczając przekładki w formie stalowej (rys. 5).

W celu stworzenia warunków pracy statycznej odpowiadających pracy przekładki w obudowie korytarzowej wprowadzono jednostronne ograniczenie odkształceń przekładek.

Zastosowanie przesuwnej ścianki bocznej umożliwiło ścisłe ograniczenie odkształceń przekładki drewnianej w jednym kierunku.

4.1. Badanie desek grubości 25 mm

Badaniom poddano przekładki wycięte z desek o grubości 25 mm. Ilość warstw w formie wynosiła: 1, 2, 3, 4, 5, 6 i 8. Stosowano trzy ułożenia przekładek:

a) ścianka ograniczająca odkształcenia - równolegle do włókien
b) ścianka okgraniczająca odkształcenia - prostopadle do włókien
c) naprzemienne ułożenie przekładek.

Próbki badano w stanie powietrzno-suchym i mokrym. Każdą próbę wykonywano trzykrotnie.

4.2. Badania desek grubości 32 mm

Badaniom poddano przekładki wycięte z desek grubości 32 mm.Ilość warstw w formie wynosiła: 1, 2, 3, 4 i 5. Ułożenie przekładek typu a) i b). Próbki badano w stanie powietrzno-suchym powtarzając każdą próbę dwukrotnie.

4.3. Badania krawędziaków 80 x 100 mm i 100 x 100 mm k

Badaniom poddano przekładki wycięte z krawędziaków o wymiarach 80 x 100 mm oraz 100 x 100 mm przy ilości warstw 1 i 2. Ułożenie przekładek typu a b) i c). Próbki badano w stanie powietrzno-suchym i mokrym powtarzając każdą próbę trzykrotnie.

4.4. Analiza wyników badań

Średnie wartości deformacji przekładek elastycznych dla poszczególnych poziomów obciążeń, rodzajów przekładek i stanu wilgotnościowego zestawiono w tablicy 4.

Na podstawie powyższego zestawienia można stwierdzić dużą zgodność poszczególnych wyników dla obciążeń większych od 30 ton.

Porównując wartość odkształceń przekładek w stanie powietrzno-suchym i mokrym stwierdza się nieznaczny wpływ wilgotności na deformację drewna przy obciążaniu. Stwierdzono natomiast prawie dwukrotnie mniejsze odkształ-

Tablica 4

Lp.	Rodzaj przekładki	Stan wilgotnościowy	Ograniczenie odkszt. do włókien				Ograniczenie odkszt. II do włókien				Naprzemienne ułożenie przekładek			
			15 T	30 T	45 T	0	15 T	30 T	45 T	0	15 T	30 T	45 T	0
		-	%	%	%	%	%	%	%	%	%	%	%	%
1	Deski 32 mm	pow-suche	10,47	31,20	42,60	-	13,22	37,76	96,63	-	-	-	-	-
2	Deski 25 mm	pow-suche	33,91	51,19	57,04	21,17	24,51	48,64	58,09	16,03	26,77	44,21	55,68	24,84
		mokra	18,67	36,96	44,65	5,30	23,39	48,97	55,64	6,31	28,32	44,73	55,86	11,05
3	Krawędziaki 80 x 100	pow-sucha	33,65	49,92	55,58	32,31	13,89	41,05	49,45	25,26	24,83	48,87	55,01	27,28
		mokre	42,57	52,50	54,55	10,60	28,36	47,21	52,51	11,61	26,02	48,63	54,23	16,89
4	Krawędziaki 100 x 100	pow-suche	-	-	-	-	13,77	41,32	50,34	26,54	12,48	43,62	52,87	26,54
		mokre	-	-	-	-	15,11	46,09	50,79	12,93	22,99	48,09	52,76	14,36

cenia trwałe (po zdjęciu obciążenia) w próbkach mokrych w stosunku do próbek w stanie powietrzno-suchym.

Z porównania wyników dla poszczególnych sposobów ułożenia przekładek w formie wynika, że w ogólnym przypadku deformacje przy ograniczeniu odkształceń równoległym do włókien są mniejsze niż przy ograniczeniu prostopadłym do włókien.

Deformacje przy naprzemiennym ułożeniu przekładek mają wartości pośrednie.

Przy ograniczeniu odkształceń do włókien obserwowano wypełzywanie drewna poza krawędzie formy i odkupywanie tej części przekładki (rys. 6).

Rys. 6. Widok ciała próbnego po ściśnięciu

Z powyższego wynika niecelowość takiego ułożenia przekładek w konstrukcji obudowy.

Wielkość odkształceń trwałych po zdjęciu obciążenia waha się w granicach 5 + 30%.

Średnie wartości modułu ściśliwości wynoszą odpowiednio:

- dla przedziału obciążeń 0 + 57,5 kg/cm^2 G_d = 163,46 kG/cm^2
- dla przedziału obciążeń 0 + 75 kG/cm^2 G_d = 165,85 kG/cm^2
- dla przedziału obciążeń 0 +112,5 kG/cm^2 G_d = 214,40 kG/cm^2

5. Podsumowanie

Przeprowadzone badania wykazały, że spośród ogółu rozważanych przekładek elastycznych praktyczne zastosowanie znaleźć mogą jedynie przekładki drewniane. Wynika to z ich korzystnej charakterystyki odkształceń.

Mianowicie w przedziale panujących w obudowie nacisków, odkształcenia są w przybliżeniu proporcjonalne do naprężeń, a wartość ściśliwości przekładek dochodzi do 50%.

Występujące w warunkach obudowy zawilgocenie przekładek nie powoduje istotnych zmian w ich odkształcalności.

Maleje natomiast odkształcenie trwałe do wartości 10%. Jest to zjawisko korzystne gdyż zapewnia zamknięcie szczelin w przypadku lokalnego obciążenia konstrukcji obudowy. Wyniki badań przekładek drewnianych wskazują na celowość ułożenia ich włóknami prostopadle do płaszczyzn zewnętrznych obudowy. Takie ułożenie przekładek zapobiega wypełzaniu drewna poza przekrój obudowy i gwarantuje większą trwałość przekładek.

Przedstawione powyżej badania przekładek elastycznych dotyczyły materiałów tradycyjnych.

W ostatnim okresie w szeregu ośrodkach badawczych podjęto próbę nad zastosowaniem przekładek z tworzyw epoksydowo-smołowych.

Przeprowadzone w ZBiD-BW sondażowe badania tych kompozycji wykazały wysokie własności wytrzymałościowe oraz korzystny charakter deformacji tego typu przekładek. Badane przekładki wykonano z kompozycji o następującej recepturze:

epidian 5	80 - 100 cz.w.
smoła hutnicza	80 - 240 cz.w.
mączka kwarcowa	150 - 300 cz.w.
piasek szklarski	100 - 200 cz.w.
utwardzacz	9 - 11 cz.w.
krylen.	

Wytrzymałość kostkowa kompozycji epoksydowo-smołowych wahała się w granicach R_k = 100 - 400 kG/cm^2, a moduł sprężystości E_i = 3500 + 50000 kG / cm^2.

Ściśliwość przekładek w zależności od wywieranego nacisku dochodziła do 300%, po odciążeniu przekładki wracały do wyjściowych wymiarów. Dopiero przy przekroczeniu "progu ściśliwości" charakteryzującego się występowaniem pęknięć rozwarstwiających pojawiały się nieodwracalne odkształcenia przekładek.

Powyższe wyniki wskazują na przydatność tego typu tworzywa do obudowy podatnej.

Czynnikiem hamującym zastosowanie jest stosunkowo wysoka cena żywic epoksydowych.

W n i o s k i

1. Spośród tradycyjnych materiałów elastycznych praktyczne zastosowanie do upodatnienia żelbetowej obudowy wyrobisk korytarzowych znaleźć mogą jedynie przekładki drewniane, charakteryzujące się modułem ściśliwości G_d = 165 kG/cm^2 i sumaryczną ściśliwością rzędu 50%.
2. Znacznie wyższe parametry odkształceń posiadają przekładki wykonane z tworzywa epoksydowo-smołowego. Uważa się za celowe kontynuowanie prac badawczych nad własnościami wytrzymałościowymi tych tworzyw oraz nad możliwościami zastosowania innych tworzyw bazujących na tańszych żywicach syntetycznych.

ПОДБОР УПРУГИХ ПРОКЛАДОК, УПОДАТЛИВАЮЩИХ СБОРНУЮ ЖЕЛЕЗОБЕТОННУЮ ГОРНУЮ КРЕПЬ

Р е з ю м е

Существенное значение для совместной работы сборных железобетонных элементов горной крепи имеют упругие уподатливающие прокладки. В практике применяется много как конструкционных, так и материальных решений.

Проведённые авторами комплексные лабораторные и модельные исследования результаты которых представлены в настоящей публикации, дали возможность наметить оптимальные решения на данном этапе и указать направления исследований в будущем.

TO MAKE ONE'S CHOICE OF ELASTIC REST PROPS TO UNDERGO AN OPERATION FOR PREFABRIC ATED FERRO-CONCRETE LINING IN MINES

S u m m a r y

Primary significance for prefabricated ferro-concrete mining lining unites, are possess to undergo an operation elastic inserts. In practice is applayeing many constructions solutions and materials as well.

Complex laboratory and models research which was in possession and also which their result was discused in aboveing publication work was permit for select the most profitable solution in present stage and also was showing inquires direction on future.