

Miroslaw CHUDEK

Janusz PARKA

Politechnika Śląska

BADANIA LABORATORYJNE ZMIAN ODKSZTAŁCEŃ I NAPRĘŻEŃ
SKAŁ GÓROTWORU I MATERIAŁÓW BUDOWLANYCH

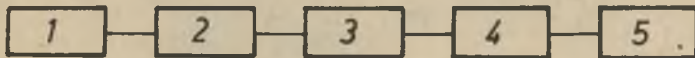
Streszczenie. W pracy podano przebieg i wyniki badań zmian odkształceń i naprężeń w próbkach skalnych oraz betonowych przy wykorzystaniu czujników mechaniczno-magnetostrykcyjnych typu CHS.

1. Badania zmian odkształceń

1.1. W jednoosiowym stanie naprężeń

1.1.1. Zakres badań

Celem badań, które wykonano w Instytucie Projektowania Budowy Kopalń i Ochrony Powierzchni Politechniki Śląskiej, było wyznaczenie krzywych pełzania i opóźnienia sprężystego odkształcenia skał przy różnych kolejnych obciążeniach próbki w etapie poprzedzającym proces pełzania i zastosowaniu aparatury (rys. 1) i czujnika CHS-1 [1]. Badania polegały na pomiarze



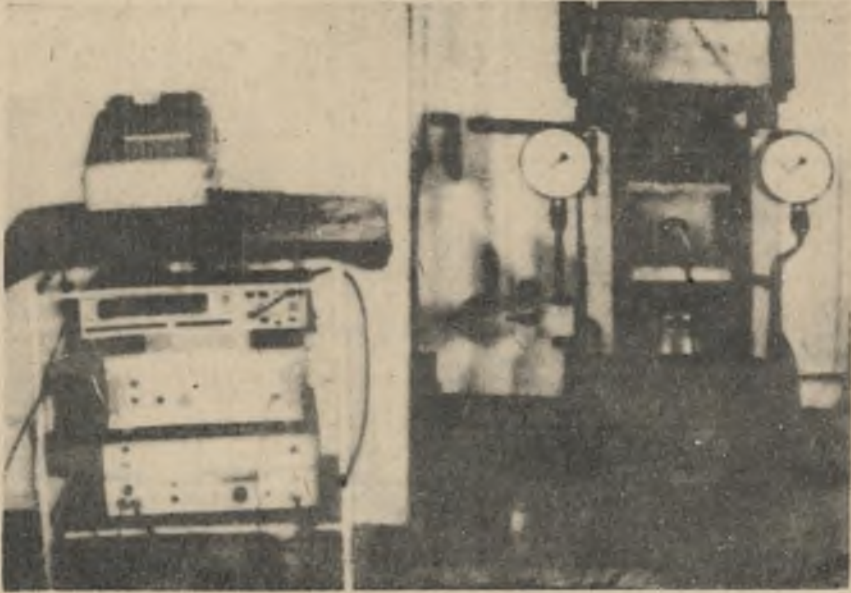
Rys. 1. Schemat blokowy urządzenia pomiarowego

1 - czujnik, 2 - układ elektroniczny pobudzenia i odbioru drgań, 3 - licznik impulsów, 4 - przetwornica pomiarowa, 5 - drukarka

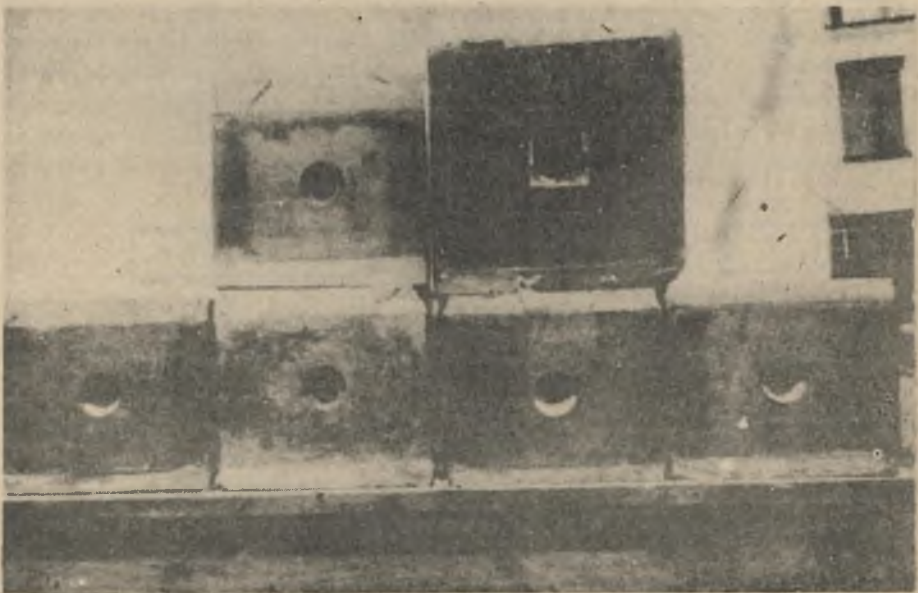
odkształceń czujnika w otworze badawczym wykonanym w każdej próbce równolegle do uławicenia o \varnothing 40 mm i długości 120 mm, w których zacementowano wkładkę bakelitową służącą do osadzenia w niej czujnika (rys. 2 i 3).

Badaniami objęto skały jak w tablicy 1.

Przygotowanie próbki o wymiarach 20 x 20 x 40 cm (rys. 3), wzmocniono obręczami z blachy stalowej o grubości 2 mm, następnie powierzchnie ściskania wyrównano zaprawą cementową. Aby dobrać obciążenie próbek podczas



Rys. 2. Widok ogólny stanowiska badawczego



Rys. 3. Widok próbek do badań

Tablica 1

Charakterystyka próbek skalnych

Nr próbki	Rodzaj skały	Nazwa kopalni	Pokład	Wymiary (m)	Ciężar właściwy (N/m^3)	Przekrój (m^2)
1	węgiel	Staszic	501	0,29x0,29x0,29	$1,34 \cdot 10^4$	$8,41 \cdot 10^{-2}$
2	węgiel	Staszic	501	0,25x0,26x0,22	$1,34 \cdot 10^4$	$6,5 \cdot 10^{-2}$
3	węgiel	Murcki	331	0,25x0,25x0,22	$1,38 \cdot 10^4$	$6,25 \cdot 10^{-2}$
4	węgiel	Murcki	331	0,25x0,25x0,22	$1,38 \cdot 10^4$	$6,25 \cdot 10^{-2}$
5	łupek	Murcki	strop 331	0,25x0,25x0,22	$2,54 \cdot 10^4$	$6,25 \cdot 10^{-2}$
6	łupek	Murcki	strop 331	0,25x0,25x0,22	$2,54 \cdot 10^4$	$6,25 \cdot 10^{-2}$

Tabl. 2

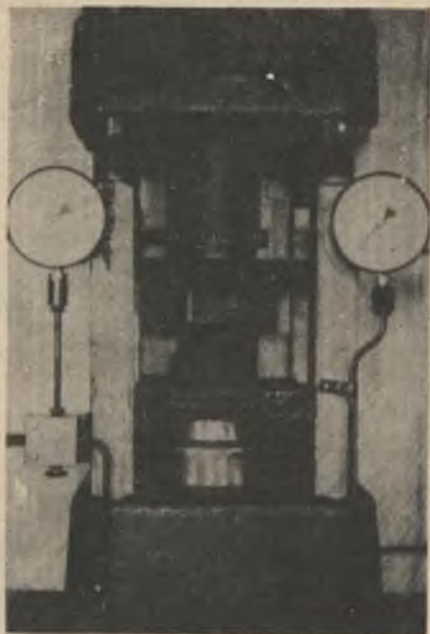
Wyniki badań

Nazwa skały	Wytrzymałość na ściskanie kN/m^2			Średnie wytrzymałości na ściskanie kN/m^2
	pomiar I	pomiar II	pomiar III	
Węgiel KWK "Staszic" pokład	$21,5 \cdot 10^3$	$25,8 \cdot 10^3$	$23,6 \cdot 10^3$	$23,8 \cdot 10^3$
Węgiel KWK "Murcki" pokład 331	$18,4 \cdot 10^3$	$12,9 \cdot 10^3$	$14,6 \cdot 10^3$	$15,3 \cdot 10^3$
łupek KWK "Murcki" strop pokładu 331	$11,8 \cdot 10^3$	$12,1 \cdot 10^3$	$10,4 \cdot 10^3$	$11,4 \cdot 10^3$

badan reologicznych, zbadano wytrzymałość skał na ściskanie prostopadle do uławicenia (tabl. 2).

1.1.2. Sposób prowadzenia badań

Próbkę skalną (rys. 3) umieszczono w prasie hydraulicznej (rys. 4). Do otworu badawczego w próbce wkładano czujnik, następnie wywoływano w niej określone naprężenie, które utrzymywano w próbce przez około 6 godzin. W tym czasie czujnik CHS-1 przekazywał impulsy do częstotliwościomierza typu PFL-21, który co 7 s. zaliczał ilość drgań w stałym przedziale czasu $t = 10$ s. Czujnik z elektronicznym układem pobudzenia i odbioru drgań jest połączony w systemie sint around (krążącego impulsu).



Rys. 4. Widok prasy hydraulicznej z próbką do badań

naprężeniu próbkę badano ok. 6 godz. Wyniki otrzymane w czasie badań przedstawione na wykresie tworzą krzywą pełzania. Następnie z próbki zdejmowano obciążenie i przez kolejne 6 godz. rejestrowano wyniki, które jak przedstawiono na wykresie, tworzą krzywą wycieczki skały.

W wyniku przeprowadzonych badań otrzymano 14000 wyników [1], z których wykonano krzywe pełzania i wycieczki skały.

Po dokonaniu 24 doświadczeń na 6 próbkach skalnych stwierdzono, że objęte badaniami skały ze względu na swą niejednorodność różniły się między sobą własnościami reologicznymi. Także duży wpływ na zachowanie się badanych skał posiadał ich zróżnicowany skład petrograficzny oraz występowanie przerostów i wtrąceń skał obcych, których własności reologiczne były różne od badanych.

Niektóre z uzyskanych wyników przedstawiono na rys. 5 i 6.

1.2. W trójosiowym stanie naprężeń

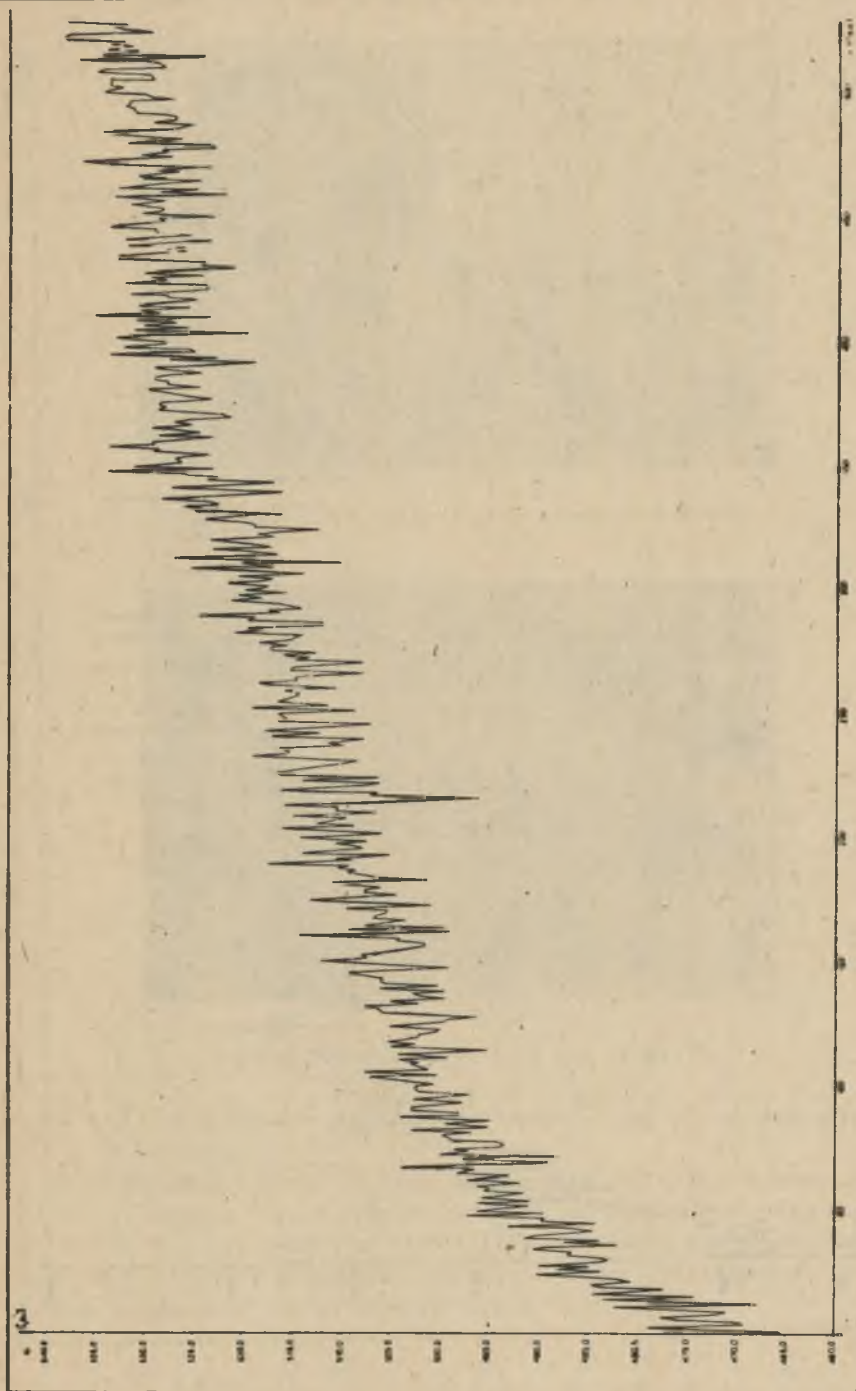
1.2.1. Zakres badań

Przedmiotem badań było określenie odkształceń próbek skalnych w 3-osiowym stanie naprężeń za pomocą czujnika CHS-2₂ [1].

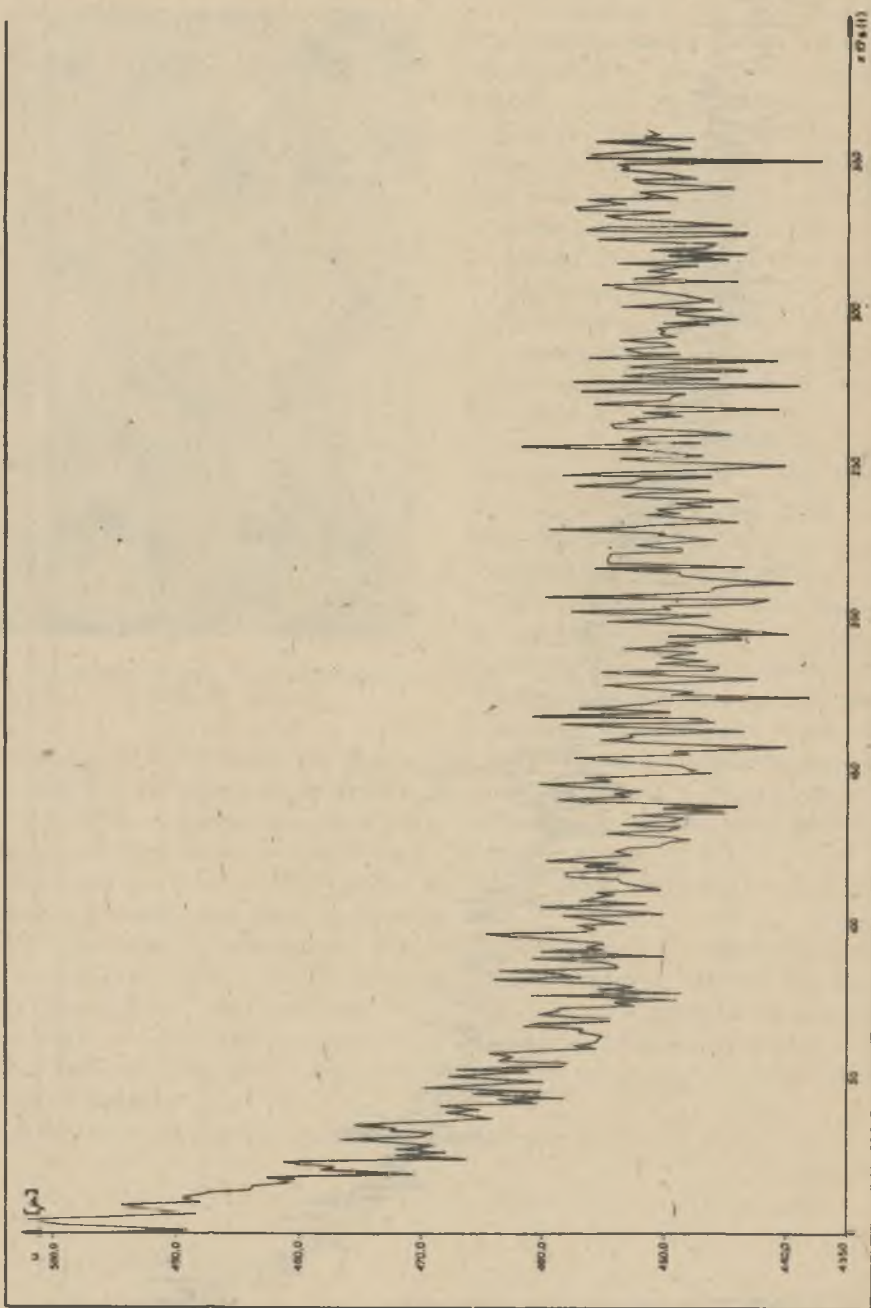
W zależności od wielkości odkształcenia czujnika w otworze badawczym ilość impulsów emitowanych przez czujnik jest wprost proporcjonalna do odkształcenia względnego. Impulsy elektroniczne przetwarzane są w układzie odbioru drgań i przekazywane dalej do elektronicznego licznika impulsów, z którego przesyłane są do drukarki poprzez przetwornicę pomiarową.

Wartości odkształcenia względnego były zapisywane przez drukarkę co 17 s.

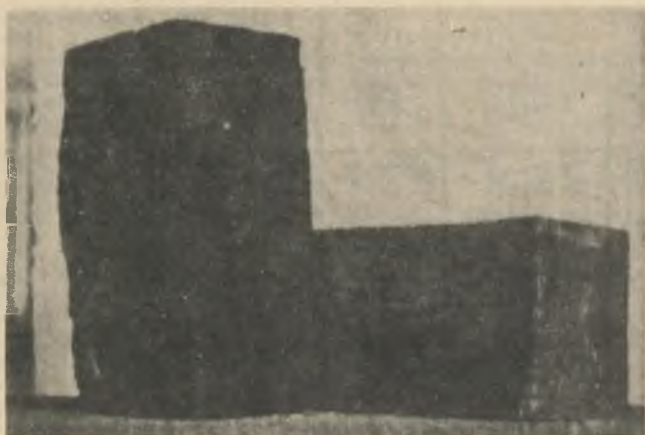
W próbkach wywołano naprężenia 550 kN/m^2 , 1100 kN/m^2 , 1650 kN/m^2 , 2200 kN/m^2 , 2750 kN/m^2 , 3300 kN/m^2 , 3850 kN/m^2 , 4400 kN/m^2 , a w większości odczytów rzędu 7000 - 13400 kN/m^2 zależnie od wytrzymałości próbki. Naprężenie w próbce zmieniono po ustaleniu się wskazzeń częstotliwościomierza - tj. do powtarzającego się odczytu. Przy takim



Rys. 5. Krzywa peizonia w jednoosiowym stanie naprężenia



Rys. 6. Krzywa opóźnienia sprężystego odkształcenia w jednoosiowym stanie naprężeń



Rys. 7. Próbkę węglowe przygotowane do badań



Rys. 8. Forma metalowa bez próbki

Do badań użyto próbek prostopadłościennych (rys. 7) o wymiarach 20 x 20 x 40 cm (tabl. 3).

Po wywierceniu otworu o ϕ 40 mm umieszczono w nich czujniki, po czym próbki umieszczono w formie metalowej (rys. 8) i zalewano mleczkiem cementowym w celu równomiernego przeniesienia nacisków z prasy hydraulicznej. Przed badaniami próbek nową metodą określono wytrzymałość skał węglowych w 1-osiowym stanie naprężeń (tabl. 4).

Tablica 3

Charakterystyka próbek węglowych

Nr próbki	Rodzaj skaży	Nazwa kopalni	Pokład poziom	Wymiary	Przekrój ściskany m ²	Uwagi
1	węgiel	Czerwone Zagłębie	510/470	0,4x0,2x0,2	0,04	pękła w trakcie wiercenia
2	węgiel	Czerwone Zagłębie	510/470	0,4x0,2x0,2	0,04	
3	węgiel	Czerwone Zagłębie	510/470	0,4x0,2x0,2	0,04	
4	węgiel	Czerwone Zagłębie	510/480	0,4x0,2x0,2	0,04	
5	węgiel	Czerwone Zagłębie	510/480	0,4x0,2x0,2	0,04	
6	węgiel	Czerwone Zagłębie	510/470	0,1x0,1x0,1	0,01	
7	węgiel	Czerwone Zagłębie	510/470	0,1x0,1x0,1	0,01	
8	węgiel	Czerwone Zagłębie	510/480	0,1x0,1x0,1	0,01	
9	węgiel	Czerwone Zagłębie	510/480	0,1x0,1x0,1	0,01	

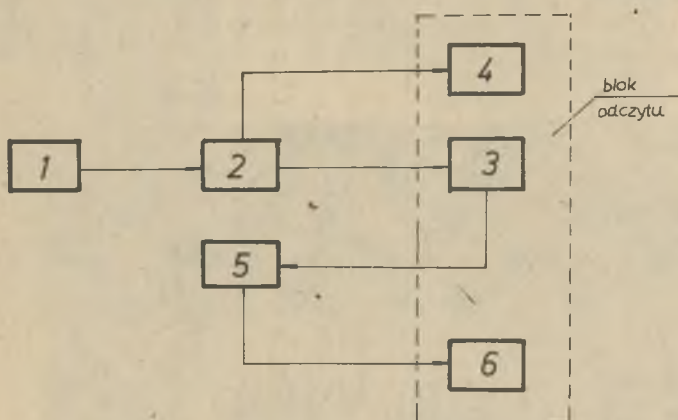
Tablica 4

Wyniki badań

Nr próbki	Średniona wytrzymałość na ściskanie	Zasięg rozrzutu	Czas obciążenia próbki	Średnia wytrzymałość na ściskanie	Uwagi
	kN/m ²	m	s	kN/m ²	
1	19,42 x 10 ³	3,60	21	19,22 x 10 ³	zaobserwowano słupowe pęknięcia wzdłuż uławiczenia bez przewieszczeń, po czym nastąpiło gwałtowne zniszczenie próbki połączone z silnym efektem dźwiękowym i rozrzutem pokruszonego węgla.
2	18,93 x 10 ³	4,20	35	19,22 x 10 ³	
3	19,32 x 10 ³	4,00	32	19,22 x 10 ³	

1.2.2. Przebieg i wyniki badań

Badania polegały na pomiarze odkształcenia czujnika w otworze badawczym w próbce pod wpływem stałego obciążenia. W przygotowanej próbce, jak w punkcie 1.2.1, w stoisku badawczym (rys. 9 i 10) wywoływano naprężenie, które utrzymywano do okresu stabilizacji wyników. W tym czasie czujnik przekazywał impulsy, które w liczniku były liczone w stałym przedziale czasu pomiaru wynoszącym 1 sek natomiast wydruk następował co 8 sek.



Rys. 9. Stanowisko badawcze - widok ogólny



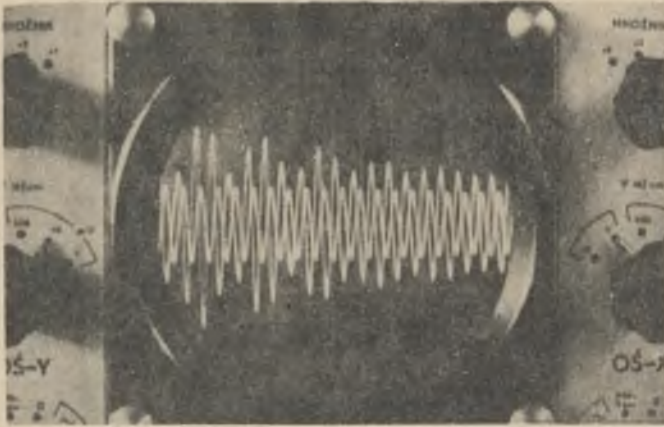
Rys. 10. Schemat blokowy urządzenia pomiarowego:

1 - czujnik CHS-2, 2 - wzmacniacz drgań "Unipan", 3 - licznik impulsów PFL-21, 4 - oscylloskop katodowy OK-15, 5 - wzmacniacz drukarki 3511a, 6 - drukarka taśmowa

Przeprowadzono cztery serie badań. Pierwsze trzy serie polegały na zadawaniu żądanego obciążenia i każdorazowym powrocie do obciążenia zerowego. Ostatnia seria badań przeprowadzona była w ten sposób, że po zadaniu żądanego obciążenia i ustaleniu się wyników zwiększano obciążenie co $2.45 \frac{\text{MN}}{\text{m}^2}$.

Wyniki zarejestrowane przez drukarkę podano w pracy [1].

Ciągła kontrola zmian częstotliwości wywołanych naprężeniem w próbce przeprowadzona była za pomocą oscyloskopu. Po ustabilizowaniu się wyników na ekranie oscyloskopu powstawał charakterystyczny dla danego obciążenia wykres. Zdjęcia wykresów dla poszczególnych etapów obciążeń przedstawiają rys. 11 do 15. Szczegółowe wyniki badań podano w pracy [1]. Poniżej dla przykładu podano tylko niektóre z nich (rys. 16 i 17).

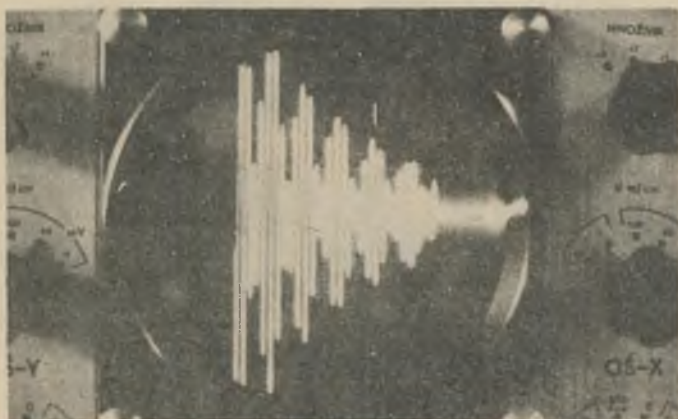


Rys. 11. Wykres na oscyloskopie przy nie obciążonej próbce

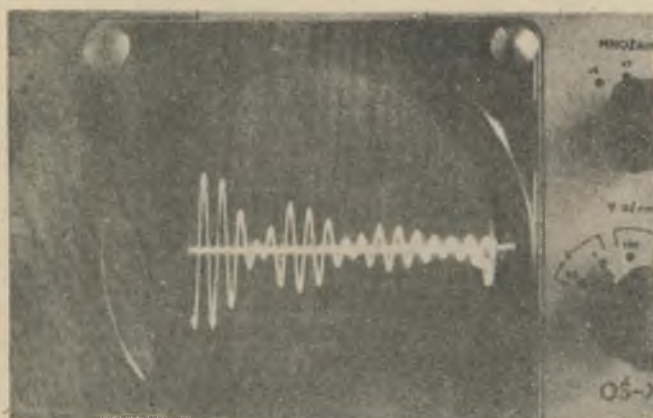
1.2.3. Omówienie nowych zjawisk zaobserwowanych w czasie prowadzonych badań i wyników ich analizy

Z przeprowadzonych pomiarów zmian odkształceń próbek skał wg zadanego programu obciążenia wynika, że proces pełzania próbki jest procesem złożonym, składającym się z drgań o bardzo małej amplitudzie odkształceń dynamicznych i odkształceń statycznych oraz że występujące drgania przyspieszają proces pełzania, zmieniając tym samym czas retardacji. Mamy tu do czynienia z nowym zjawiskiem pełzania górotworu, które nie jest znane dotychczas w literaturze światowej. Zjawisko to nazwano wibropełzaniem górotworu.

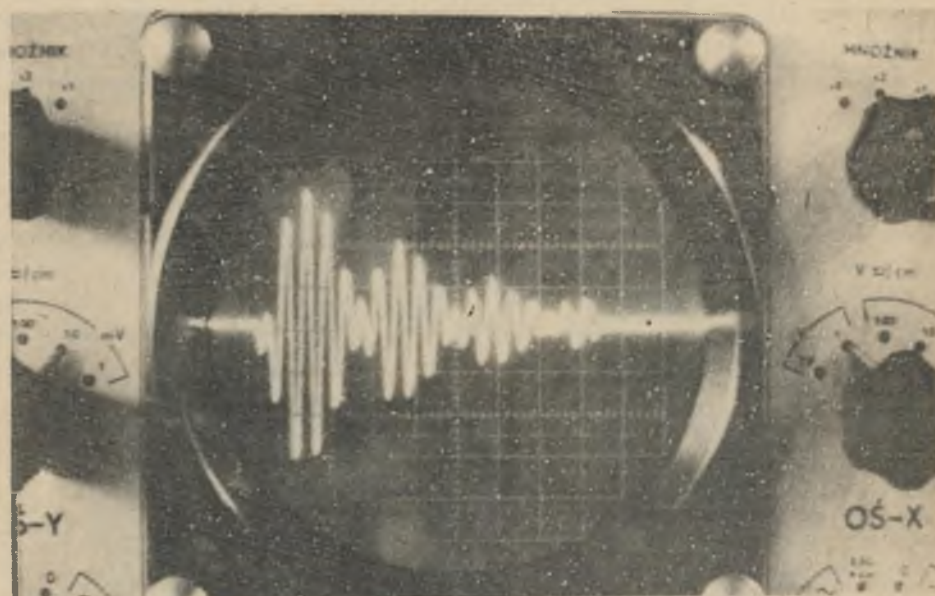
Z otrzymanych wyników badań odkształceń próbek w jedno- i trójosiowym stanie naprężeń można sformułować przypuszczenie, że w zależności od stanu fizycznego, stanu naprężenia i budowy próbki, na pełzanie skały nakładają się złożone procesy fizykomechaniczne, których rezultatem jest zja-



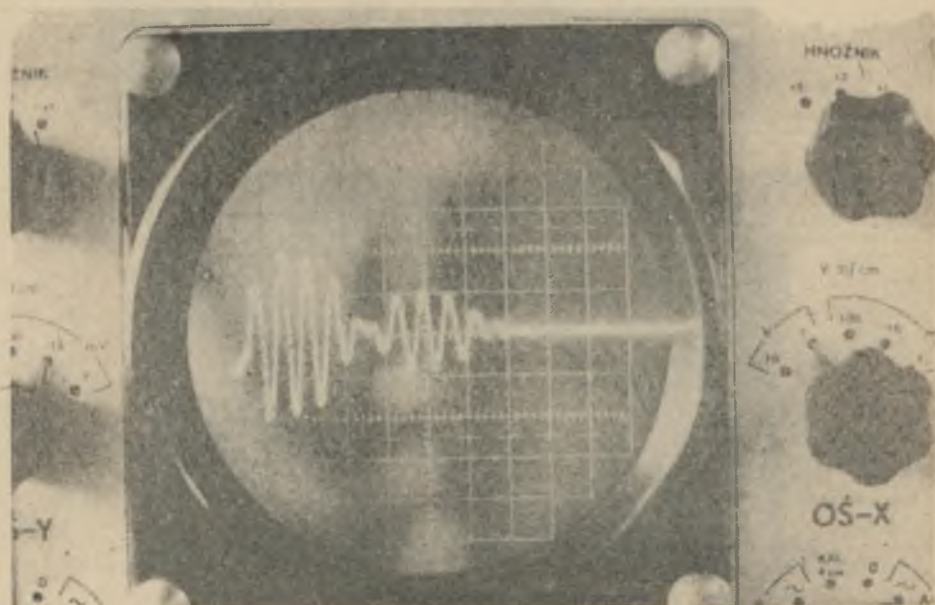
Rys. 12. Wykres na oscyloskopie przy obciążeniu próbki $7,35 \text{ MN/m}^2$



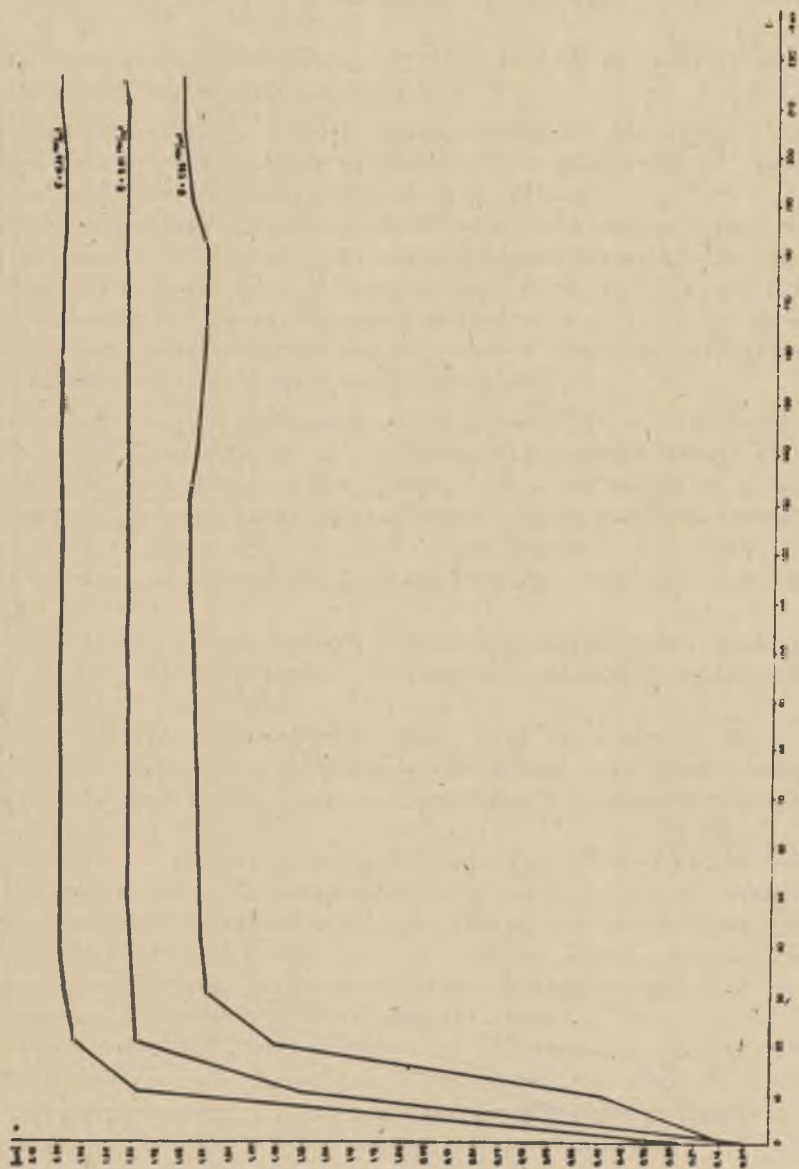
Rys. 13. Wykres na oscyloskopie przy obciążeniu próbki $9,8 \text{ MN/m}^2$



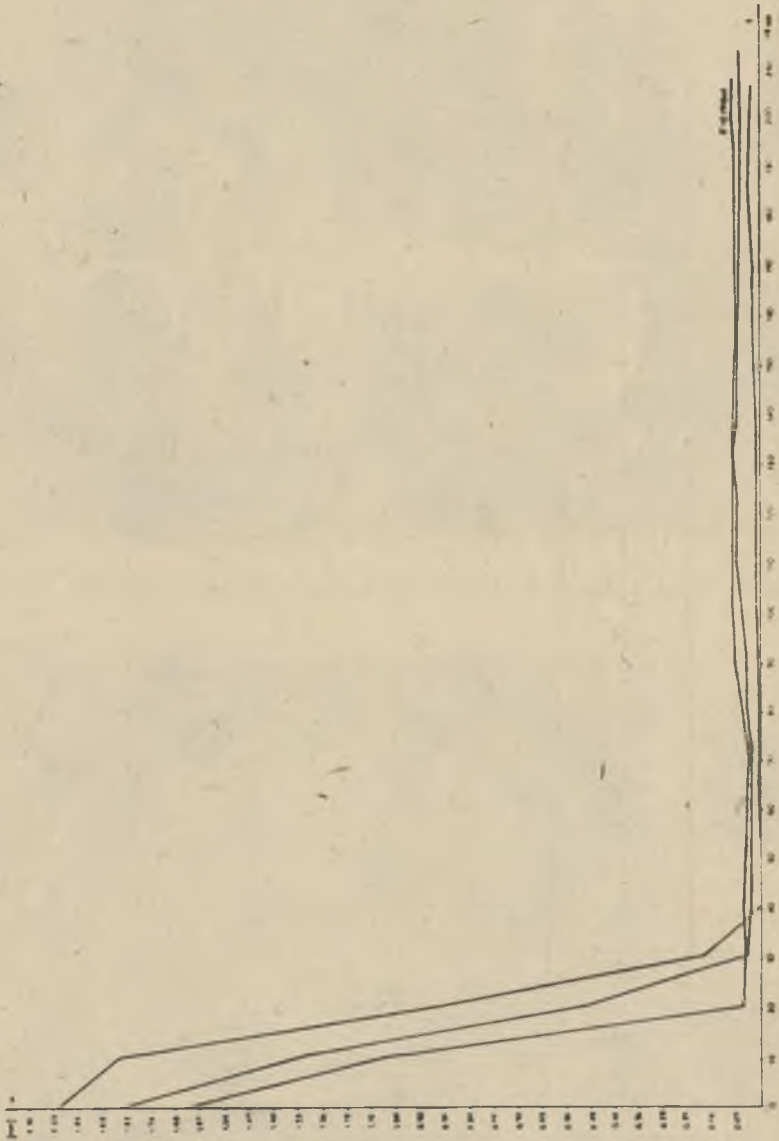
Rys. 14. Wykres na oscyloskopie przy obciążeniu próbki $12,26 \text{ MN/m}^2$



Rys. 15. Wykres na oscyloskopie przy obciążeniu próbki $14,72 \text{ MN/m}^2$



Rys. 16. Krzywa peizania w trójosiowym stanie naprężeń



Rys. 17. Krzywa opóźnienia sprężystego odkształcenia w trójosiowym stanie naprężeń

wisko wibropełzania górotworu. Można przypuszczać, że zmiany struktury wewnętrznej skały, jak np. zmiany ilości pęknięć wielkości szczelin i ich zmiana, dają efekty istnienia drgań wywołanych zmianami obciążeń statycznych.

Z otrzymanych przebiegów pełzania wynika, że program analizy zjawiska powinien zawierać następujące zagadnienia:

- wpływ nałożenia wibracji o danej częstotliwości na aktywizację procesu pełzania oraz przeanalizowanie wibropełzania w zależności od tzw. natchmiastowego współczynnika amplitudy odkształcenia A ,
- określenia wpływu wywołanych w czasie zmiany obciążeń wibracji w procesie pełzania na zmianę wartości modułów kinematycznych, jak: zastępczy zespolony dynamiczny moduł sprężystości $E(e, f, t)$, kąt przesunięcia fazowego naprężenia względem odkształcenia $\gamma(e, f, t)$, czas retardacji, które charakteryzują badaną próbkę w przyjętym układzie wymuszenia statycznego i o obranym modelu obciążenia.

Z zestawionych danych liczbowych wibropełzanie [1] jest widoczna, że przebiegi o współczynnikach $A \neq 0$ układają się znacznie wyżej od przebiegów pełzania statycznego. W miarę zmniejszenia się wartości A funkcja wibropełzania układa się coraz niżej i zbliża się do funkcji pełzania statycznego. Prawidłowości te spowodowane są niewątpliwie nie tylko nałożeniem się wibracji górotworu, ale i zmianą wartości naprężenia panującego w skale.

O tym, że nałożenie się wibracji o stosunkowo bardzo małej amplitudzie wyraźnie zwiększa efekty pełzania, świadczą dane liczbowe w tablicach 4-9 [1].

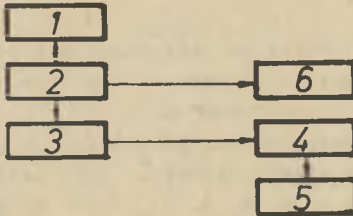
Przebiegi wykresów wibropełzania (tabl. 1-24) [1] wykazują, że po stosunkowo krótkim okresie nieustalonego wibropełzania dalszy jego proces zachodzi ze stałą prędkością, odpowiednią dla danego obciążenia początkowego próbki.

Z porównania otrzymanych przebiegów wibropełzania widać, że im większe obciążenie, tym większa jest częstotliwość wibracji, przy czym zmiany częstotliwości wibracji są silnie nieliniowe. Reasumując, stwierdzamy, że nałożenie wibracji o dużych wartościach A wywołuje duże prędkości pełzania i duże odkształcenia, natomiast wibracje o małych wartościach A wywołują mniejsze prędkości i mniejsze odkształcenia.

Można więc stwierdzić, że w czasie zmian obciążeń statycznych występuje nieciągłe przemieszczenie cząstek, efektem czego są wibracje, które wywołują w czasie pełzania rozluźnienie więzów w górotworze, co ułatwia istnienie względnych poślizgów w zakresie płynięcia sprężystego.

2. Badanie zmian stanu naprężeń w modelach poddanych jednoosiowemu ścisnieniu

2.1. Zakres badań



Rys. 18. Schemat blokowy aparatury pomiarowej:

1 - czujnik naprężeń, 2 - układ elektroniczny pobudzenia i odbioru drgań czujnika naprężeń, 3 - licznik impulsów, 4 - przetwornica sygnałów, 5 - drukarka taśmowa, 6 - oscyloskop

otworach o Φ 40 mm i długości 200 mm odbywał się podobnie, jak opisano w rozdziale 1.1.

2.2. Przebieg i wyniki badań

Badania w tym zakresie polegały na pomiarze zmian naprężeń - pod wpływem zmieniającego się obciążenia - za pomocą czujników umieszczonych w otworze badanych modeli (rys. 19 i 20). Modele umieszczono w prasie hydraulicznej, po czym próbkę poddano obciążeniu w sposób dyskretno-ciągły. W czasie zmian obciążeń czujnik przekazywał impulsy do częstotliciomierza, który co 7 s. zliczał ilość drgań w stałym przedziale czasu $t = 10$ s.

Połączony z częstotliciomierzem - poprzez przetwornicę impulsów - drukarka taśmowa rejestrowała wyniki pomiarów.

Badania przeprowadzono w zakresie górnej granicy wytrzymałości materiału badanej próbki. Wyniki niektórych badań zestawiono na wykresie (rys. 21 i 22).

2.3. Omówienie wyników badań

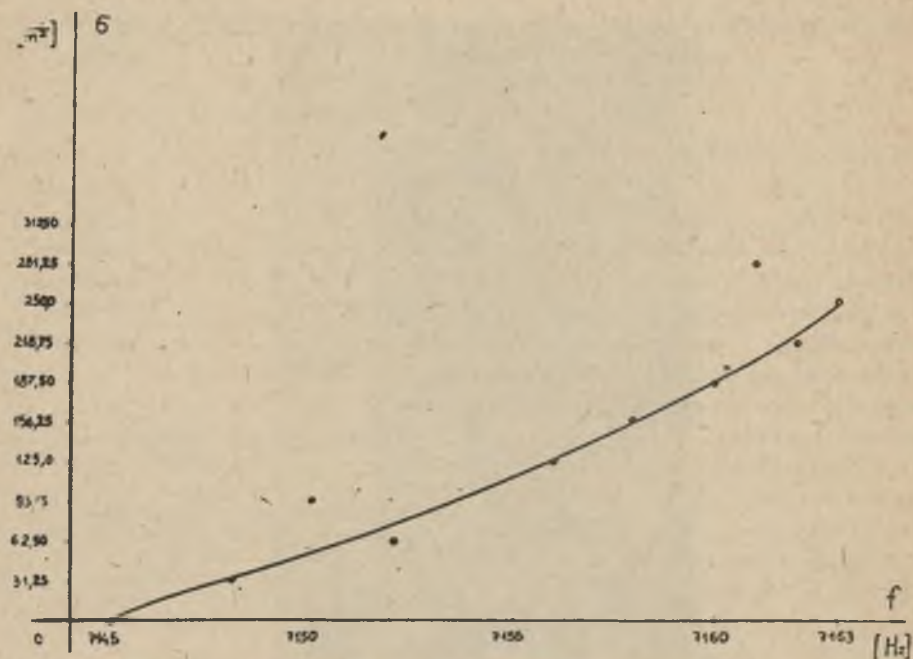
W ramach przeprowadzonych pomiarów zmian naprężeń wykonano kilkadziesiąt doświadczeń na dwóch modelach wykonanych z tworzywa cementowo-piaskowego. Z uzyskanych wyników pomiarów zmian naprężeń wg zadanego programu obciążenia wynika, że przebieg wzrostu naprężenia w próbce można podzie-



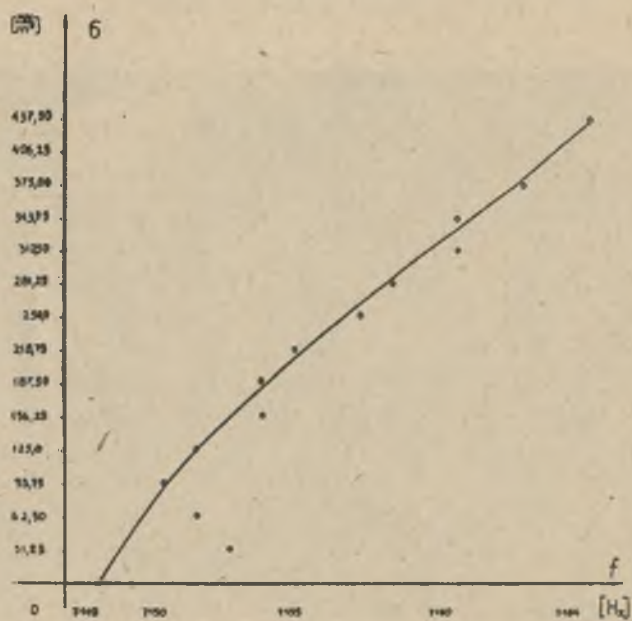
Rys. 19. Widok próbek do badań



Rys. 20. Stanowisko badawcze



Rys. 21. Przebieg zmian naprężeń w próbce przy obciążeniu



Rys. 22. Przebieg zmian naprężeń w próbce przy obciążeniu

lić na dwa etapy: w pierwszym etapie naprężenie w próbce wzrosło zgodnie ze wzrostem obciążenia zewnętrznego, zaś w drugim etapie - gdy stan próbki znalazł się w zakresie krytycznym - naprężenie malało w próbce mimo wzrastającego ciśnienia zewnętrznego i przy pewnym już niewielkim wzroście obciążenia nastąpiło zniszczenie próbki.

W oparciu o powyżej przedstawioną analizę wyników badań sformułowano następujące wnioski końcowe:

- w oparciu o przedstawioną teorię nowego opisu reologicznego górotworu [1] można będzie opracować metodę prognozowania zmian odkształceń i naprężeń górotworu,
- w oparciu o przeprowadzone badania teoretyczno-eksperymentalne [1] można będzie opracować metodę prognozowania w danych warunkach górniczo-geologicznych stanów krytycznych w obrębie wyrobisk górniczych.

LITERATURA

- [1] Chudek M., Parka J. i inni: Doskonalenie konstrukcji i technologii pomiaru stanu odkształceń w otworach wiertniczych wykonywanych w górotworze nienaruszonym i naruszonej eksploatacją górniczą. Praca nie publikowana, Gliwice 1980.

Recenzent: Prof. dr hab. inż. Zdzisław Kłeczek

Wpłynęło do Redakcji 30.04.1981 r.

Лабораторные исследования изменений деформаций
и напряжений пород горного массива и строительных материалов

Р е з ю м е

В работе представлены ход и результаты исследований изменений деформаций и напряжений в образцах пород и бетона с применением механико-магнитоэлектрических датчиков типа СНС.

Laboratory tests concerning the changes of strains
and stresses of rock mass and building materials

S u m m a r y

The paper gives the course and results of investigations concerning the changes of strains and stresses in rock and concrete samples when mechanical-magnetostrictive indicator of the type CHS is used.